# علم النانو وتقنية النانو
# تحضيره وتطبيقاته


من قبل

**أحمد عامر حسين الشمري**

ماجستير- كيمياء - كلية التربية للعلوم الصرفة - جامعة ديالى

(2020)



1444 هـ 2022 م


.

# علم النانو وتقنيـة النانو
# تحضيره وتطبيقاته

اسم المؤلف: **أحمد عامر حسين الشمري**

عنوان الكتاب: **علم النانو وتقنية النانو تحضيره وتطبيقاته**

تصنيف الكتاب: **الكيمياء**

تصميم الغلاف: **كرار السعيدي**

تنقيح: **كادر دار المها**

إخراج فني: **و اثق زياد السامر ائي**

الناشر: **دار المها**

الطبعة الأولى: **2023**



العنوان: **ديالى / بعقوبة** حسابنا على الإنستغرام **@dar._almaha**

بِسۡمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحۡمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

وَقُل رَّبِّ زِدْنِي عِلْمًا

صدق الله العظيم

سورة طه

الآية (114)

# الإهداء

**إلى أبي العطوف.... قدوتي، ومثلي الأعلى في الحياة؛ فهو من علَّمني كيف أعيش بكرامة وشموخ.**

**إلى أمي الحنونة...... لا أجد كلمات يمكن أن تمنحها حقها؛ فهي ملحمة الحب وفرحة العمر، ومثال التفاني والعطاء.**

**إلى إخوتي.... سندي وعضدي ومشاطري أفراحي وأحزاني.**

**إلى زوجتي.... أسمى رموز الإخلاص والوفاء ورفيقة الدرب**

**إلى روحي وقُرَّة عيني ونبض فؤادي.... ابنتي وابني**

**إلى كل من يحبني بصدق وإخلاص**

**إلى الأستاذ الدكتور / مصطفى عبد المجيد الذي لم يبخل عليه بأي معلومة علمية**

**أهديكم كتابي المتواضع....**

## شكر وعرفان

الحمد لله الذي علم بالقلم، علم الانسان مالم يعلم، الحمد لله المنان، الملك القدوس السلام، مدبر الليالي والايام، مصرف الشهور والأعوام، قدر الأمور فأجراها على أحسن نظام، ما شاء الله كان ومالم يشأ لم يكن، الحمدالله على ما أنعم به عليَّ من فضله الخير الكثير والعلم الوفير وأعانني على إنجاز هذا العمل الذي احتسبه عبادة من العبادات جعلها الله خالصة لوجهه الكريم. وبعد حمد لله تعالى وشكره على إنهائي لهذه الرسالة أتقدم بخالص الشكر وعظيم الامتنان للأستاذ الفاضل أ.م. د. مصطفى عبد المجيد على ما قدمه لي من علم رشاد مستمر نافع وعطاء متميز، وعلى ما بذله من جهد متواصل ونصح وتوجيه من بداية مرحلة البحث حتى إتمام هذه الرسالة، ومهما كتبت من عبارات وجمل فإن كلمات الشكر تظل عاجزة عن إيفاء حقه، فجزاه الله عني خير الجزاء وجعل ذلك في موازين حسناته. كما أتقدم بأسمى عبارات الشكر والتقدير إلى أ.م. د عصام حامد حميد رئيس قسم التقانة الحياتية/كلية العلوم/جامعة ديالى، كما أتقدم الشكر الى م. بيولوجي حيدر جاسم، وكان لهما الفضل بعد الله فيما وصلت إليه الآن فلا أملك إلا الدعاء لهما بطول العمر وحسن العمل وبلوغ الجنان، ويسرني أن أتقدم بالشكر لكل من مد لي يد العون، أو أسدى لي معروف إسهامه صغيرة أو كبيرة في إنجاز هذا العمل فله مني خالص الشكر والتقدير.

الباحث

أحمد عامر حسين الشمري

**الخلاصة**

تم في هذه الدراسة تحضير بعض مركبات الاسبنيل النانوية ($Fe_3O_4$) بطريقة الترسيب الكيميائي المشترك و($CuFe_2O_4$, $NiFe_2O_4$,$CoFe_2O_4$ و$ZnFe_2O_4$) بطريقة الكيمياء الخضراء تم تشخيص مركبات الاسبنيل النانوية باستخدام التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء FT-IR، الانعكاس الكلي ATR المنخفض، حيود الأشعة السينية XRD، مطيافية الأشعة السينية المشتتة للطاقة EDX، المجهر الإلكتروني الماسح SEMو مجهر القوة الذرية AFM. إذ اظهرت التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء FTIR ال ( $Fe_3O_4$) ظهور حزمتين عريضة عند التردد ( $565, 476cm^{-1}$ ) فهي تعود لمط الأصرة (Fe-O) **Ʋ**وهي حزمة تميز هياكل الإسبنيل وأظهر FTIR ال $CoFe_2O_4$ حزمة حادة و متوسطة عند التردد ($438cm^{-1}$ ) تعود لمط الاصرة (Co-O) **Ʋ** وحزمة أخرى حادة وطويلة عند التردد ($542cm^{-1}$) تعود لمط الاصرة (Fe-O) **Ʋ** وأظهر FTIR ال $NiFe_2O_4$ حزمة حادة ومتوسطة عند التردد ($420cm^{-1}$) تعود لمط الأصرة (Ni-O) **Ʋ** وحزمة أخرى حادة وطويلة عند التردد ($567cm^{-1}$) تعود لمط الأصرة (Fe-O) **Ʋ** و أظهر FTIR ل $CuFe_2O_4$ حزمة حادة ومتوسطة عند التردد ($365cm^{-1}$) تعود لمط الأصرة (Cu - O) **Ʋ** وحزمة أخرى حادة وطويلة عند التردد ($547cm^{-1}$) تعود لمط الأصرة (Fe-O) **Ʋ** و أظهر FTIR ال$ZnFe_2O_4$ حزمة حادة ومتوسطة عند التردد ($422cm^{-1}$) تعود لمط الأصرة (Zn-O) **Ʋ** وحزمة أخرى حادة وطويلة عند التردد ($566cm^{-1}$) تعود لمط الأصرة (Fe-O) **Ʋ**. وأظهر ATR نفس متشابه ل FTIR وأظهرت النتائج حيود الأشعة السينية XRD ان متوسط الحجم الحبيبي لأكاسيد الأسبنيل النانوية المحضرة (38.19، 20.17، 30.70، 30.62، 29.13) نانومتر ($Fe_3O_4$¸ $CoFe_2O_4$, $NiFe_2O_4$, $CuFe_2O_4$و$ZnFe_2O_4$) على التوالي. وكان متوسط الحجم الحبيبي في مجهر الإلكتروني الماسح SEM ($Fe_2O_4$, $CoFe_2O_4$ , $CuFe_2O_4$ , ZnFe2O4,$NiFe_2O_4$) هو (95.98، 55.75، 94.79، 107.24، 44.99) نانو متر على التوالي وفي جهاز AFM كان معدل الحجم الحبيبي ل ($Fe_2O_4$, $CoFe_2O_4$ , $NiFe_2O_4$ , $ZnFe_2O_4$,$CuFe_2O_4$) هو (53.2، 124، 71.9، 66.4، 81.4) نانو متر على التوالي. تمت دراسة تثبيط مركبات الأسبنيل النانوية المحضرة على بكتيريا Escherichia coli التي تم عزلها من مياه نهر المرادية (خلف جامعة ديالى/موقع المرادية) وتشخيصها في مختبرات جامعة ديالى/كلية العلوم/قسم التقانة الاحيائية تم تأكيد تشخيصها باستخدام بجهاز VIT2 ®، وتمت دراسة سمية مركبات الاسبنيل النانوية المحضرة على خط الخلايا الخلية البطانية للوريد السري البشري HUVEC وإجراء اختبار MTT باستخدام جهاز (ELISA) في مختبرات إيران. وتم تحليل النتائج احصائيا باستعمال برنامج (Graph pad prism8.0 )أظهرت النتائج

أن اكثر فعالية وسمية هو ( $Fe_3O_4$)، إذ بلغت أعلى نسبة تثبيط 51.41% بعد 24 ساعة و79.62% بعد 48 ساعة في تركيز400μg/ml وأقل نسبة تثبيط 1.32% بعد 24 ساعة و 6.03% بعد 48 ساعة في تركيزμg/mlويليه ($CoFe_2O_4$)، إذ بلغت أعلى نسبة تثبيط 61.46% بعد 24 ساعة و 77.48% بعد 48 ساعة في تركيز400 μg/ml وأقل نسبة تثبيط 5.06%- بعد 24 ساعة و 4.45% بعد 48 ساعة في تركيز 25μg/ml ثم يليه ($NiFe_2O_4$)، إذ بلغت أعلى نسبة تثبيط 61.72% بعد 24 ساعة و 80.6% بعد 48 ساعة في تركيز400 μg/ml وأقل نسبة تثبيط 8.35% بعد 24 ساعة و 14.72% بعد 48 ساعة في تركيز25μg/ml. ثم يليه ($CuFe_2O_4$)، إذ بلغت أعلى نسبة تثبيط 32.97% بعد 24 ساعة و54.62% بعد 48 ساعة في تركيز400μg/ml وأقل نسبة تثبيط 4.43%- بعد 24 ساعة و0.3% بعد 48 ساعة في تركيز25μg/ml. ثم يليه ($ZnFe_2O_4$)، إذ بلغت أعلى نسبة تثبيط 50.94% بعد 24 ساعة و 66.92% بعد 48 ساعة في تركيز400μg/ml وأقل نسبة تثبيط 6.4% بعد 24 ساعة و 4.16% بعد 48 ساعة في تركيز25μg/ml .كذلك تم قياس تثبيط مركبات الأسبنيل النانوية باستخدام خمسة تراكيز متسلسلة وهي (500 , 600 , 700, 800 , 900 , 1000) μg/ml. أظهرت النتائج أن مركبات الاسبنيل النانوية المحضرة فعالية تثبيط نمو تجاه E. coli وهي: ($Fe_3O_4$) إذ بلغت أعلى نسبة تثبيط نمو تجاه E. coli 100% في تركيز (800μg/ml). وبلغت أقل نسبة تثبيط نمو تجاه E. coli 20.3 % في تركيز (500μg/ml) و ($CoFe_2O_4$) إذ بلغت أعلى نسبة تثبيط نمو تجاه E. coli 55.3% في تركيز (1000μg/ml). وبلغت أقل نسبة تثبيط نمو تجاه E. coli 21% في تركيز (500μg/ml) و ($NiFe_2O_4$) إذ بلغت أعلى نسبة تثبيط نمو تجاه E. coli 60.4% في تركيز (1000μg/ml). وبلغت أقل نسبة تثبيط نمو تجاه E. coli 17.6% في تركيز (500μg/ml)، و ($CuFe_2O_4$)، إذ بلغت أعلى نسبة تثبيط نمو تجاه E. coli 63.2% في تركيز (1000μg/ml). وبلغت أقل نسبة تثبيط نمو تجاه E. coli 19.6% في تركيز (500μg/ml) و ($ZnFe_2O_4$) إذ بلغت أعلى نسبة تثبيط نمو تجاه E. coli 100% في تركيز (900μg/ml). وبلغت أقل نسبة تثبيط نمو تجاه E. coli 39.2% في تركيز (500μg/ml). وأظهرت نتائج التحليل الإحصائي للمغتيت وفريتات الاسبنيل على تثبيط نمو بكتريا E. coli باستعمال برنامج (Graph Pad Prism 8.0) واستخدم تحليل (correlation) للاستدلال على المعنوية. تم زيادة استخدام الجسيمات النانوية في مجالات مختلفة مثل البيولوجيا الجزيئية والفيزياء والكيمياء العضوية وغير العضوية والطب وعلوم المواد بشكل غير متوقع في الوقت الحاضر في ضوء ذلك، فإن المراجعة الحالية عبارة عن مجموعة متنوعة من الطرق المختلفة المستخدمة لتحضير الجسيمات النانوية المعدنية ومزاياها وعيوبها وتطبيقاتها.

# قائمة المحتويات

# قائمة الجداول

# قائمة الاشكال

## قائمة المخططات



## قائمة المختصرات

| | |
|---|---|
| nm | Nanometers |
| mm | Millimeter |
| NM | Nanomaterials |
| NPs | Nanoparticles |
| 0D | Zero-Dimensional |
| 1D | One-Dimensional |
| 2D | Two-Dimensional |
| 3D | Three-Dimensional |
| FTIR | Fourier-transform infrared spectroscopy |
| ATR | Attenuated Total Reflectance |

| XRD | X-ray diffraction |
|---|---|
| EDX | Energy dispersive x-ray analysis |
| SEM | Electron microscopy |
| AFM | Atomic force microscopy |
| µ | Micro |
| MNPs | magnetic nanoparticles |
| mL | Milliliters |
| C$^o$ | Celsius |
| µl | Microliter |
| ICDD | International Centre for Diffraction Data |
| HUVEC | Human Umbilical Vein Endothelial Cells |
| MTT | Microculture tetrazolium |
| g | Gram |
| ROS | Reactive oxygen species |
| CMOS | Complementary metal oxide semiconductor |
| MEMS | Micro electro mechanical systems |
| POMs | Polyoxometalates |
| PEG | Polyethylene glycol |
| QDs | Quantum dots |
| LEDs | light-emitting diode |
| CNTs | Carbon nanotubes |
| HOMO | Highest Occupied MO |
| LUMO | Lowest Unoccupied MO |
| FET | field-effect transistor |

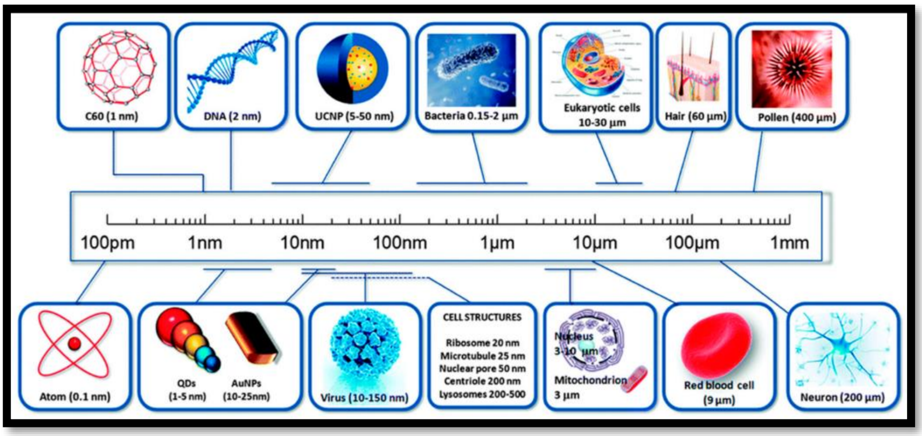
# المقدمة

# علم النانو تكنلوجي

# Nanotechnology

## 1.1 المقدمة Preface

النانو هو مجال للبحث والابتكار يهتم ببناء الأشياء بشكل عام ( المواد والأجهزة) على مقياس الذرات والجزيئات [1]. النانومتر هو واحد من المليار من المتر يبلغ قطر شعرة الإنسان في المتوسط 80000 نانومتر. في مثل هذه المقاييس لم تعد القواعد العادية للفيزياء والكيمياء سارية [2,3] . على سبيل المثال، يمكن أن تختلف خصائص المواد، مثل اللون والقوة والتوصيل والتفاعل، اختلافًا كبيرًا بين المقياس النانوي والمايكروي. تعتبر الأنابيب النانوية الكربونية أقوى 100 مرة من الفولاذ ولكنها أخف وزناً بست مرات ويمكن ملاحظة اختلاف هذه المقاييس في الشكل (1.1) علم النانو من ملليمتر (mm) إلى نانومتر (nm) [4]

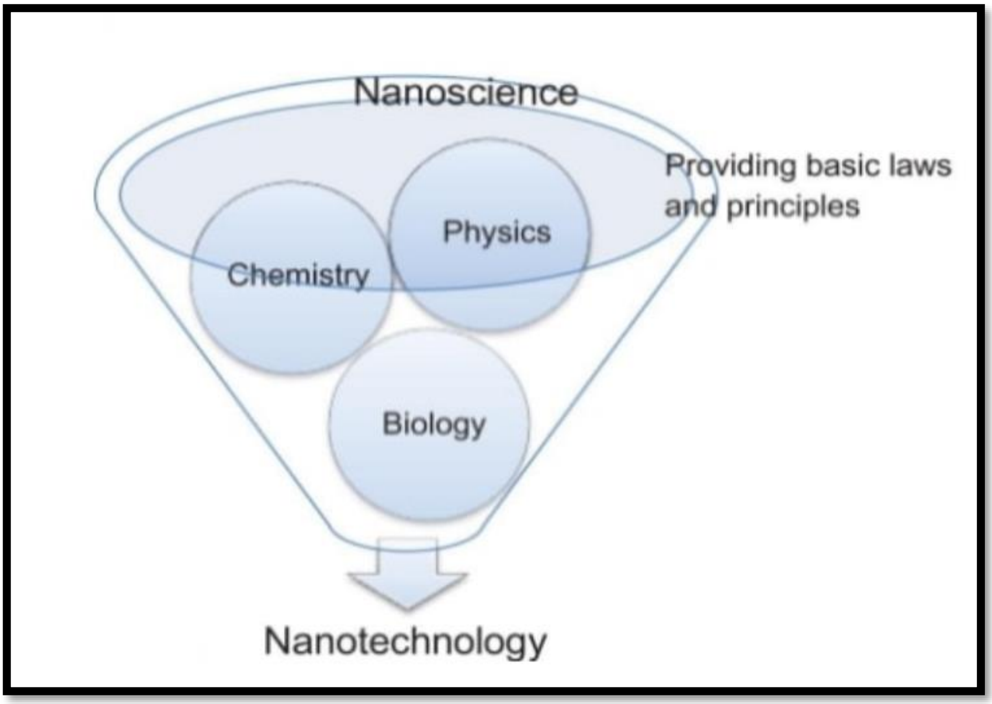



الشكل (1.1) مقارنة أحجام المواد النانوية[5]

## 2.1 ما هو علم النانو وتكنولوجيا النانو What is nanoscience and nanotechnology

يمكن تعريف علم النانو على أنه دراسة الأشياء والظواهر التي تحدث على مقياس من 1 إلى 100 نانومتر والتلاعب بالمواد في هذا المقياس. يمكن تعريف تقنية النانو على أنها فهم المادة والتحكم فيها بأبعاد تتراوح من 1 إلى 100 نانومتر تقريبًا، باستخدام معرفة علم النانو للتطبيقات. يمكن وصف الاختلاف بين تقنية النانو وعلم النانو بنفس طريقة الاختلاف بين التكنولوجيا والعلوم بشكل عام. يتضمن علم النانو الظواهر والتلاعب بالمواد بمقاييس صغيرة للغاية (يمكن مقارنتها بالمقياس الذري والجزيئي). يوفر القوانين والمبادئ لفهم خصائص المواد على المستوى الذري. علم النانو وتكنولوجيا النانو مهمان عالميًا للتطبيقات

المتقدمة والجديدة. على وجه التحديد، أولئك الذين يتعاملون مع الظواهر العلمية والتقنيات الفعالة في المجالات الصغيرة الحجم. تتمتع تقنية النانو بقدرة لا تصدق على معالجة الأشياء الصغيرة للغاية التي لا يمكن رؤيتها من خلال المجهر الضوئي العادي، هناك آلات متقدمة نانوية الحجم وأجهزة كمبيوتر ومجاهر إلكترونية لهذا الغرض. إنه يتعامل مع المواد الموجودة في (نانومتر) والمواد النانوية التي تظهر خصائص فيزيائية وكيميائية فريدة ومعززة بشكل واضح. العلاقة بين علم النانو وتكنولوجيا النانو واضحة في الشكل. (2.1)




**الشكل (2.1) العلاقة بين علم النانو وتكنولوجيا النانو. يوفر علم النانو القوانين والمبادئ الأساسية لتخصصات مختلفة مثل الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا وما إلى ذلك.**

تظهر المواد النانوية خصائص جديدة على عكس المواد السائبة (الأولية). حيث أن لديها نسب سطح إلى حجم أعلى من الهياكل ذات الحجم نفسه ولكن مساحة السطح أقل. وبالمثل، تصبح الظواهر الكمومية أكثر أهمية عند اتخاذ قرار بشأن صفات وخصائص المواد عند أخذ المواد بمقياس نانوي. إن الأحجام والمراحل والتشكيلات الخاصة بالمواد النانوية لها تأثير كبير على خصائصها وتطبيقاتها. للتغلب على هذه الصعوبة، ركز العديد من الباحثين على التحكم في حجم المواد النانوية وطورها وشكلها. تعتبر التكنولوجيا الحيوية النانوية

رائعة في نهجها العلاجي نظرًا لصغر حجمها الجزيئي، وخصائصها الكيميائية، وخصائصها الفيزيائية، ومجموعة واسعة من التطبيقات. [6]

## 1.2.1 علم النانو Nanoscience

يتعامل علم النانو مع أشياء ذات أحجام صغيرة للغاية تتراوح بين 1 و 100 نانومتر، مما يدل على تقدم مهم في السنوات الأخيرة. يدرس علم النانو المواد ذات المقاييس المختلفة ويعالجها مثل المقاييس الجزيئية والجزيئات الكبيرة والمقاييس الذرية. يولي علم النانو اهتمامًا خاصًا لتأثيرات وخصائص وهياكل المواد على المقياس النانوي. لقد أدى إنتاج الأجهزة الإلكترونية النانوية التي تقل عن 1µm إلى تغيير حياتنا اليومية بشكل ملحوظ. لذلك، يمكن جعل التقنيات القديمة تعمل بكفاءة أكبر إذا تم استخدام علم النانو. يرتبط علم النانو بالعديد من الجسيمات والظواهر في الطبيعة. يتضمن علم النانو أشياء صغيرة ومشتركة. على سبيل المثال ، يحتوي الماء على العديد من الجزيئات الصغيرة وهو جزء طبيعي من هذا الكون [7].

## 2.2.1 تقنية النانو Nanotechnology

تعد تقنية النانو مجالًا مهمًا للبحث الحديث الذي يتعامل مع التركيب والاستراتيجية والتلاعب بهيكل الجسيمات التي يتراوح حجمها من 1 إلى 100 نانومتر تقريبًا[8]. يبلغ سمك ورقة نموذجية 100000 نانومتر وشعر بشري يبلغ قطره 80.000 نانومتر، لذلك هذا صغير بشكل لا يصدق تقريبًا. يهتم العلماء والمهندسون والمطورون بالعمل بمقاييس الحجم هذه لأن المواد على المقياس النانوي يمكن أن تتصرف بشكل مختلف عن نفس المادة في الحجم أو الحجم الكبير. اعتمادًا على المادة، في المقاييس ذات الأحجام الصغيرة جدًا، قد تصبح أقوى، وأكثر مرونة، ومقاومة للتلف، وموصلية، أو تفاعلية كيميائيًا. حتى الخصائص مثل اللون تعتمد على الحجم في المقياس النانوي. بينما تظل تقنية النانو مجالًا نشطًا للبحث في جميع مجالات العلوم والهندسة والطب تقريبًا ، ظهرت مجموعة واسعة من التطبيقات والمنتجات التي تستفيد من الخصائص الجديدة للمواد النانوية[9]. تنمو التطبيقات الجديدة للجسيمات النانوية والمواد النانوية بسرعة على جبهات مختلفة نظرًا لخصائصها الجديدة تمامًا أو المعززة بناءً على حجمها وتوزيعها وشكلها. إنه يكتسب تجديدًا سريعًا في عدد كبير من المجالات مثل الرعاية الصحية ومستحضرات التجميل والطب الحيوي والغذاء والأعلاف وتوصيل الجينات الدوائية والبيئة والصحة والميكانيكا والبصريات والصناعات الكيماوية والإلكترونيات والصناعات الفضائية وعلوم الطاقة والحفز، بواعث الضوء، الترانزستورات الإلكترونية الأحادية، الأجهزة البصرية غير الخطية والتطبيقات

الكهروكيميائية الضوئية. أدى النمو الهائل في هذه التقنيات المتوسعة إلى فتح حدود مطبقة وأساسيات جديدة. [10].

## 3.1 تاريخ تقنية النانو History of Nanotechnology

تقنية النانو هي استخدام المادة على نطاق ذري وجزيئي وفوق الجزيئي للأغراض الصناعية. أشار أول وصف واسع الانتشار لتقنية النانو إلى الهدف التكنولوجي المعين المتمثل في معالجة الذرات والجزيئات بدقة لتصنيع المنتجات الكبيرة، والتي يشار إليها الآن أيضًا باسم تقنية النانو الجزيئية. تم وضع وصف أكثر عمومية لتقنية النانو في وقت لاحق من قبل المبادرة الوطنية لتقنية النانو والتي عرّفت تقنية النانو على أنها معالجة للمادة ذات بعد واحد على الأقل بحجم من 1 إلى 100 نانومتر. يعكس هذا التعريف حقيقة أن التأثيرات الميكانيكية الكمومية مهمة في مقياس عالم الكم وبعد ذلك فقد تحول التعريف من هدف تكنولوجي معين إلى فئة بحثية تشمل جميع أنواع الأبحاث والتقنيات التي تتعامل مع الخصائص الخاصة للمادة التي تحدث. أقل من عتبة الحجم المحددة[11]. لذلك من الشائع للإشارة إلى مجموعة واسعة من الأبحاث والتطبيقات التي تكون السمة المشتركة لها هي الحجم ويمكن تلخيص مراحل التطور في مجال تكنولوجيا النانو كما مبين في الجدول(1.1) [12,13]

**الجدول (1.1): التطوير الدوري في تكنولوجيا النانو.**

| السنة | التطور في تكنولوجيا النانو |
|---|---|
| 1959 | بدأ R. Feynman عملية التفكير |
| 1974 | تم استخدام مصطلح تكنولوجيا النانو من قبل تانيجوتشي لأول مرة |
| 1981 | مجهر IBM Scanning Tunneling Microscope |
| 1985 | "كرة بوكي" |
| 1986 | أول كتاب عن محركات الخلق بتقنية النانو نشره ك. إريك دريكسلر، مجهر القوة الذرية |
| 1989 | تم صنع شعار IBM باستخدام ذرات فردية |
| 1991 | اكتشف S. Ijma أنبوب الكربون نانو لأول مرة. |
| 1999 | تم نشر أول كتاب عن الطب النانوي من تأليف R. Freitas بعنوان "Nanomedicine" |

| 2000 | لأول مرة تم إطلاق المبادرة الوطنية لتقنية النانو |
|---|---|
| 2001 | من أجل تطوير نظرية الأجهزة الإلكترونية ذات المقياس النانوي ولتركيب وتوصيف الأنابيب النانوية الكربونية والأسلاك النانوية، تم منح جائزة فاينمان في تقنية النانو. |
| 2002 | تم منح جائزة Feynman في تقنية النانو لاستخدام الحمض النووي لتمكين التجميع الذاتي للهياكل الجديدة ولتعزيز قدرتنا على نمذجة أنظمة الآلات الجزيئية. |
| 2003 | مُنحت جائزة Feynman في تقنية النانو لنمذجة الهياكل الجزيئية والإلكترونية للمواد الجديدة ولدمج المحركات البيولوجية الجزيئية الأحادية مع أجهزة السيليكون النانوية. |
| 2004 | تم عقد أول مؤتمر سياسي حول تكنولوجيا النانو المتقدمة. تم إنشاء أول مركز للأنظمة الميكانيكية النانوية، وتم منح جائزة Feynman في تقنية النانو لتصميم هياكل بروتينية مستقرة وبناء إنزيم |
| 2005-2010 | تم تجهيز أنظمة النانو ثلاثية الأبعاد مثل الروبوتات والشبكات ثلاثية الأبعاد ومنتجات النانو |
| 2011 | بدأ عصر تقنية النانو الجزيئية |

## 4.1 مناقشة تقنية النانو Discussion of nanotechnology

تقنية النانو (NT) هي علم متعدد التخصصات معقد بما في ذلك:

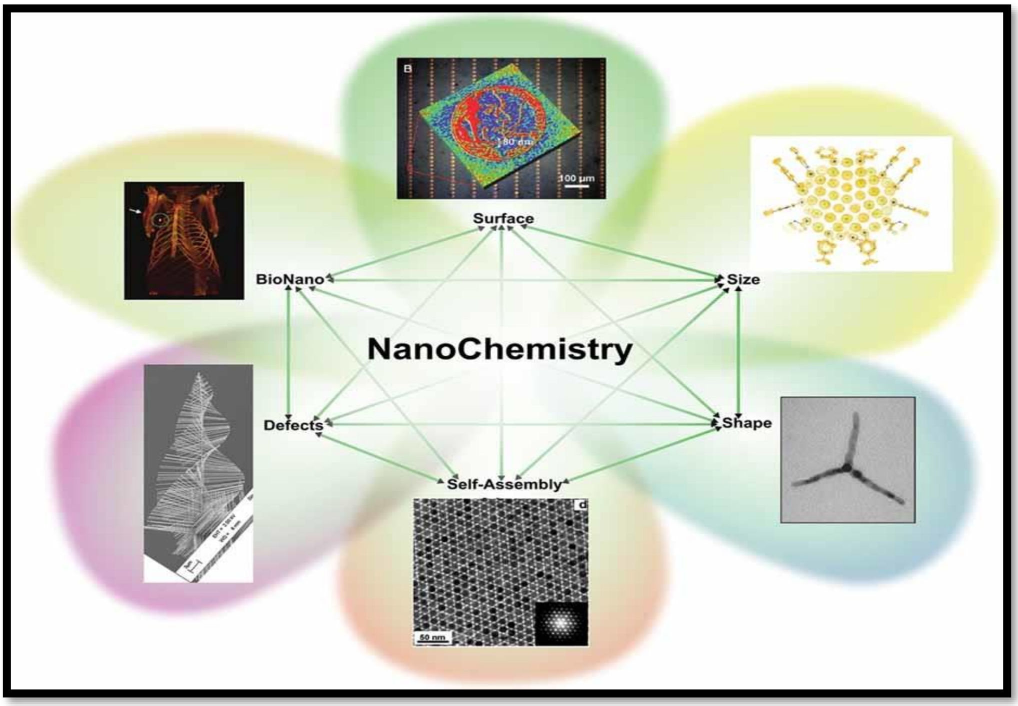
### 1.4.1 كيمياء النانو Nano chemistry

كيمياء النانو هي فرع من فروع علم النانو وهي دراسة السلوكيات الكيميائية لجزيئات صغيرة جدًا من مادة ما. لا توجد كيمياء النانو عادةً من تلقاء نفسها ولكنها تعمل جنبًا إلى جنب مع الفيزياء النانوية وعلم الأحياء النانوي والإلكترونيات النانوية والمواد النانوية وعلم النانو والتصنيع النانوي والتي تُعرف مجتمعة باسم تقنية النانو أو علم النانو. تتصرف المواد بشكل مختلف على مقياس النانو لأن جميع الذرات موجودة على السطح وتظهر خواص كيميائية وفيزيائية ومغناطيسية وإلكترونية وبصرية مختلفة للجسيمات الأكبر. الجسيمات النانوية صغيرة ولكنها أكبر من الجزيئات الفردية، ولكن نظرًا لصغر حجمها، فإن مساحة سطحها كبيرة إلى نسبة الحجم مما يجعلها شديدة التفاعل. غالبًا ما تكون الكيمياء المعنية عند

التقاطع بين الكيمياء التقليدية وكيمياء الكم. تعد استخدامات الكيمياء النانو جزءًا لا يتجزأ من معظم دراسات وتطبيقات تكنولوجيا النانو. يمكن دراسة سلوك المادة النانوية المعينة من قبل عالم الكيمياء النانوية لتحديد سلوكياتها والتنبؤ بها على مقياس نانوي. كما هو مذكور أعلاه، تُستخدم كيمياء النانو في واقي الشمس وطلاء السيارات، ولكن لها أيضًا العديد من الاستخدامات في الأدوية والأجهزة والإلكترونيات. تشمل التطبيقات الطبية الكشف عن السرطان وعلاجه، وإيصال الأدوية إلى نقطة الحاجة، ونمو أعضاء جديدة، وتقنيات جراحة النانو، وأكثر من ذلك. يجب أن يتأكد عالم الكيمياء النانوية من أن الخصائص الكيميائية النانوية للجسيمات النانوية المستخدمة ليست ضارة بالمريض. كما هو الحال مع العديد من أنواع التكنولوجيا الأخرى، كلما تم توليد المزيد من المعرفة كلما زاد عدد فرص استخدام التكنولوجيا التي يتم اكتشافها. لدينا جميعًا مادة مركبة نانوية طبيعية بداخلنا - عظام - وهي عبارة عن مركب نانوي من بلورات هيدروكسيباتيت الكالسيوم والكولاجين. اكتشف جراحو العظام والأسنان أن استخدام التيتانيوم الذي يشيع استخدامه في جراحة المفاصل والزرع يمنع نمو العظام إذا كان سلسًا للغاية. لذلك في الجراحة، من الممارسات الجيدة الآن أن يكون لديك هياكل كيميائية نانوية على الغرسات للمساعدة في إعادة النمو وهذا في بعض الأحيان مركب من البوليمر الكيميائي وجزيئات السيراميك النانوية. تجد كيمياء النانو تطبيقات في الأجهزة. يمكن لأجهزة الاستشعار النانوية الكشف عن كميات ضئيلة من الملوثات حيث يتم تغيير الخصائص النانوية لأجهزة الاستشعار الصغيرة من خلال وجود جزيء أو جزيئين من المادة الكيميائية المستهدفة. يمكن أن يكون لهذه الأنواع من الأدوات تطبيقات في المراقبة البيئية ومعالجة المياه وإنتاج الغذاء ومجموعة من السيناريوهات الأخرى. تُستخدم كيمياء النانو في صناعة الطاقة حيث يتم تطوير خلايا تخزين طاقة صغيرة جدًا ويعزز السلوك الكيميائي النانوي خصائص المواد المستخدمة. يمكن أيضًا استخدام الجسيمات النانوية لتصنيع موصلات قوية وخفيفة الوزن. كيمياء النانو مهمة أيضًا في تطوير الإلكترونيات الأصغر والأصغر. يمكن أن يكون فهم كيفية تصرف المادة على مقياس نانوي مفيدًا لتطوير تخزين بيانات جديد أصغر وأقل استهلاكًا للطاقة والعديد من التطبيقات الأخرى. تعد تكنولوجيا المواد من المجالات التي تؤثر فيها كيمياء النانو على الحياة اليومية العادية. يمكن أن تساعد إضافة الجسيمات النانوية إلى الأقمشة في منع نمو الميكروبات. يستخدم Nanosilver على وجه الخصوص لمنع نمو الميكروبات والسيطرة عليه. من الاستخدامات اليومية الأخرى لكيمياء النانو إنتاج مكونات ألياف الكربون للمعدات الرياضية، وقطع غيار المركبات، وما إلى ذلك. الموضحة هنا ليست سوى عدد قليل من التطبيقات النانوية الكيميائية المحتملة. سيستمر عدد التطبيقات وتنوعها في النمو مع مرور الوقت. يتم توسيع الحدود باستمرار مع المعرفة والتطورات في أجهزة النانو والقدرة على

إنشاء المزيد والمزيد من البيئات الخاضعة للرقابة والمتطرفة مثل غرف التبريد وما إلى ذلك ستكون كيمياء النانو جزءًا مهمًا من أي تطورات مستقبلية في تكنولوجيا النانو (غرواني نانوي، سول-جل وكيمياء الكم) مخصصة للتجميع الذاتي وتوليف الجسيمات النانوية وكذلك للبحث عن آثار حجمها الجوهري. ترتبط بإنتاج وتفاعلات الجسيمات النانوية ومركباتها. إنه يهتم بالخصائص الفريدة المرتبطة بتجمعات الذرات أو الجزيئات على مقياس يتراوح بين كتل البناء الفردية والمواد السائبة (من 1 إلى 1000 نانومتر)[14]. إلى جانب توسيع الأساس المفاهيمي للكيمياء إلى `` درجات الحرية التركيبية " الجديدة للحجم والشكل والسطح والتجميع الذاتي والبايو نانو ، تكمن في تعدد التخصصات التي قد طبعت في الحقول المجاورة لها (الشكل 3.1). يمكن اعتبار هذا التحول على الأرجح أعظم قصة نجاح لكيمياء النانو، لأنه جمع العلوم والهندسة وعلم الأحياء والتخصصات الطبية معًا بطريقة فريدة من نوعها لإيجاد مواد جديدة تحل المشكلات - وهي مادة متعددة التخصصات ولكنها مدفوعة بالكيمياء نهج للتحديات. وبالتالي قد تكون مساهمة الكيمياء النانوية في منهجية البحث التي حفزتها أكثر من النتائج التي قدمتها منذ ذلك الحين. لا يوجد مكان يمكن تقديره بشكل أفضل من مساهمات الكيمياء النانوية في التقدم العلمي متعدد التخصصات والمتمثل ، من بين أمور أخرى ، من خلال: 1) بطاريات الحالة الصلبة ذات الكفاءة المحسنة ، خلايا الوقود ، الخلايا الكهروضوئية ، الإضاءة الأنظمة ، والكهرو حرارية التي تهدف إلى توليد طاقة نظيفة ومنخفضة التكلفة ، 2) نانوفوتونيك ، بصرية نانوية ، مغنطيسية نانوية ، موائع نانوية ، و أجهزة ميكانيكية نانوية ، 3) أجهزة كشف كيميائية وبيولوجية ذات حساسية محسنة ، وأوقات استجابة أسرع ، وانتقائية أفضل ، 4) المحفزات والمحفزات الضوئية ، 5) المحركات النانوية التي يقودها الوقود الكيميائي والكيميائي الحيوي ، و 6) عدد لا يحصى من الاختراقات الطبية النانوية مثل التصوير الخلوي والأعضاء في الجسم الحي ،علاج أو علاج أشكال مختلفة من السرطان ، وتوصيل الأدوية والجينات المستهدفة. في حين أن هذه التطورات مشجعة بالفعل، إلا أن هناك شعورًا شائعًا بشكل متزايد بأن علم النانو لم يفي بعد بوعوده الأولية، خاصة من منظور تكنولوجي. على الرغم من حقيقة أن العالم يرى المنتجات الأولى "الممكّنة بتقنية النانو"، إلا أن معظم الأجهزة المثيرة للاهتمام والتي من المحتمل أن تكون مدمرة لا تزال "محاصرة" في المختبرات الأكاديمية والمختبرات الناشئة، وهناك العديد من الأسباب لذلك التأخير الملحوظ، ولا يرتبط أي منها بالوعد الحقيقي للمجال. من ناحية، إنه رأي واسع الانتشار غالبًا ما كانت الوعود غير الواقعية تُقطع، لا سيما من حيث الأطر الزمنية. قد يستغرق إدخال عملية مبتكرة إلى خط أنابيب صناعي سنوات في حد ذاته. من ناحية أخرى، نشعر أن الاهتمام قد تم تركيزه بشكل كبير على إظهار الأجهزة والوظائف، مع ما يسمى بأمثلة إثبات المفهوم التي في كثير من الحالات لا تثبت إلا القليل

جدًا من حيث الإمكانات التكنولوجية. من المعروف أننشر عمل كيمياء النانو في المجلات المرموقة غالبًا ما يتطلب عرضًا لـ "نوع من الأجهزة". ولا يتم تكريس اهتمام كبير لمعرفة ما إذا كانت هناك حاجة فعلية للجهاز أم لا. المشاكل الحالية للتكاثر والموثوقية في الأجهزة والمواد النانوية.



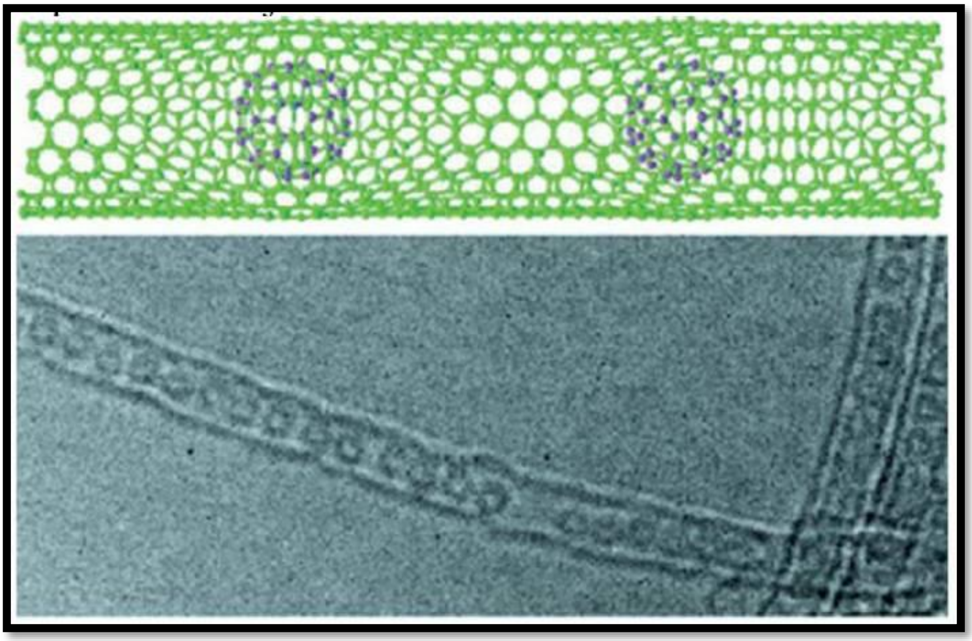

**الشكل (3.1) يوضح هذا الرسم البياني إطارًا مفاهيميًا مقترحًا لكيمياء النانو**[15]

## 2.4.1 الفيزياء النانوية Nanophysics

تقع الفيزياء النانوية في منتصف الطريق بين مقاييس الحجم لميكانيكا الكم والفيزياء العيانية التي تحكمها قوانين نيوتن وآينشتاين. التعريف الصحيح للفيزياء النانوية هو فيزياء الهياكل والمصنوعات اليدوية ذات الأبعاد في نطاق النانومتر أو الظواهر التي تحدث في نانو ثانية. أصبحت الطرق الفيزيائية الحديثة التي تم تطوير أساسياتها في مختبرات الفيزياء ذات أهمية حاسمة في علم النانو. تجمع الفيزياء النانوية بين العديد من التخصصات، باستخدام الأساليب النظرية والتجريبية لتحديد الخصائص الفيزيائية للمواد في نطاق الحجم النانوي. تشمل الخصائص المثيرة للاهتمام السلوك الهيكلي والإلكتروني والبصري والحراري للمواد

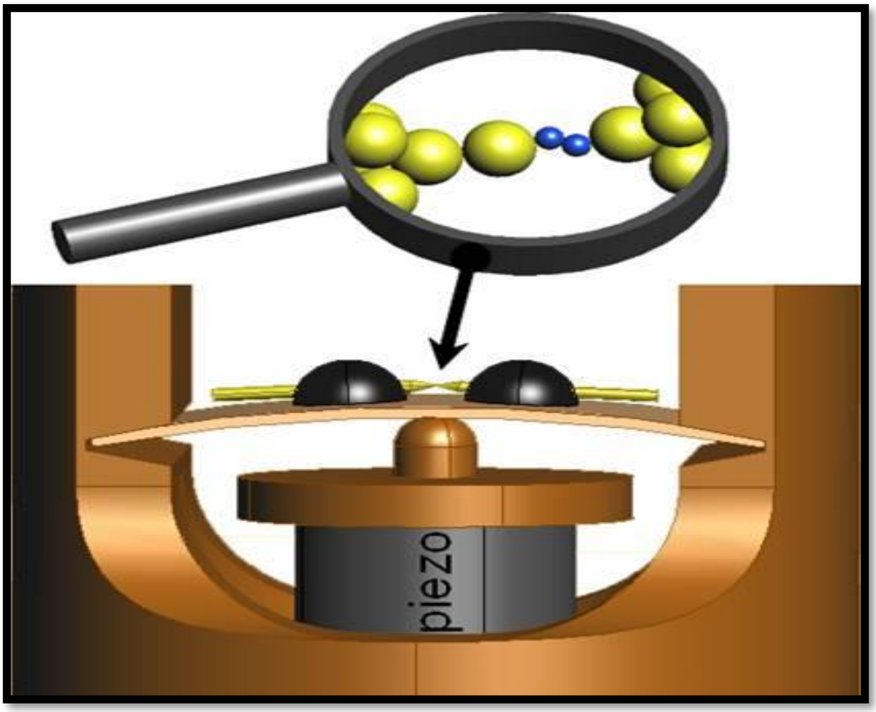
النانوية؛ الموصلية الكهربائية والحرارية القوى بين الأجسام النانوية. والانتقال بين السلوك الكلاسيكي والكمي. أصبحت الفيزياء النانوية الآن فرعًا مستقلاً للفيزياء، وتوسعت في الوقت نفسه في العديد من المجالات الجديدة وتلعب دورًا حيويًا في المجالات التي كانت ذات يوم مجالًا للهندسة أو الكيمياء أو علوم الحياة. يتعلق علم النانو وتكنولوجيا النانو بربط الظواهر واستغلالها للمواد التي لها أبعاد واحدة أو ثنائية أو ثلاثة أبعاد مخفضة إلى المقياس النانوي. اختراقات في تكنولوجيا النانو تتطلب أساسًا راسخًا في مبادئ الفيزياء النانوية. تهدف إلى تحقيق هدف حاسم. تهدف الفيزياء النانوية إلى ربط العلماء ذوي الاهتمامات المتباينة لبدء مشاريع متعددة التخصصات ودمج نظرية ومنهجية المجالات الأخرى في عملهم. قد يكون تطورهم مرتبطًا بثلاثة أحداث مثيرة حدثت في فترة قصيرة من أوائل إلى منتصف الثمانينيات مع منح جوائز نوبل لكل منهم. كانت هذه: (1) اكتشاف تأثير هول الكمي في غاز إلكترون ثنائي الأبعاد؛ (2) اختراع الفحص المجهري للمسح النفقي (STM)؛ و (3) اكتشاف الفوليرين كشكل جديد من الكربون. أدى الاثنان الأخيران، في غضون بضع سنوات، إلى اختراع رائع لمجهر القوة الذرية (AFM) ، وفي أوائل التسعينيات الاكتشاف الاستثنائي للأنابيب النانوية الكربونية (CNT) ، والتي سرعان ما وفرت منصة الإطلاق لتقنية النانو الحالية. برزت STM و AFM كأقوى الأدوات لفحص ومراقبة ومعالجة المادة على المقاييس الذرية والجزيئية وتشكل هذه الوظائف الدعامة الأساسية لتقنيتي النانو. تعد تطبيقات الفيزياء النانوية عندما تصبح الأشياء صغيرة أو باردة (أو كليهما!) ، تبدأ التأثيرات الكمية في الظهور. تطور الفيزياء النانوية العديد من الأجهزة والأدوات للكشف عنها وتحديدها كميًا. يتم إنشاء المواد الجديدة والهياكل والأجهزة من خلال مجموعة متنوعة من تقنيات التصنيع، بما في ذلك الطباعة الحجرية للأشعة الإلكترونية وطحن الحزمة الأيونية المركزة والمعالجة بالنانو والتجميع الذاتي. ثم يتم اختبارهم في درجات حرارة تتراوح من المحيط إلى بضع عشرات من المللي كلفن باستخدام مختلف المجسات والمجاهر وأجهزة التبريد. يتطلب التحقيق في شكل ووظيفة البنية والأجهزة النانوية تطوير كواشف فائقة الحساسية ومصادر (للكميات) والمجاهر ويلهمها (فيزياء الكم، والسبينترونيك ، والضوئيات) المخصصة للتجميع الاصطناعي وتصنيع الهياكل النانوية وكذلك للبحث عن تأثيرات حجمها الخارجي[16]. يتم تمثيل الأجهزة الأصغر حجمًا من خلال دراسة الهياكل النانوية على مستوى ذرة واحدة أو جزيء ، والذي يعتمد على الإعدادات المطورة ذاتيًا لمختبر الإلكترونيات الجزيئية. يتم تمثيل مقياس الطول الأكبر إلى حد ما بواسطة الهياكل النانوية الكربونية المدروسة على نطاق واسع (الفوليرين ، الأنابيب النانوية ، الجرافين). ينصب تركيزنا الخاص على تعديل خصائص الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار عن طريق إدخال أنواع مختلفة من الجزيئات القائمة على الفوليرين

في الأنابيب النانوية. يوضح الشكل الموجود أسفل على ترتيب الفوليرينات التي تأخذ شكل كرة القدم داخل الأنابيب النانوية الكربونية.



**الشكل (4.1) يوضح ترتيب الفوليرينات التي تأخذ شكل كرة القدم داخل الأنابيب النانوية الكربونية.**

يوجد أدناه صورة بالمجهر الإلكتروني بتكبير يبلغ 5 ملايين.



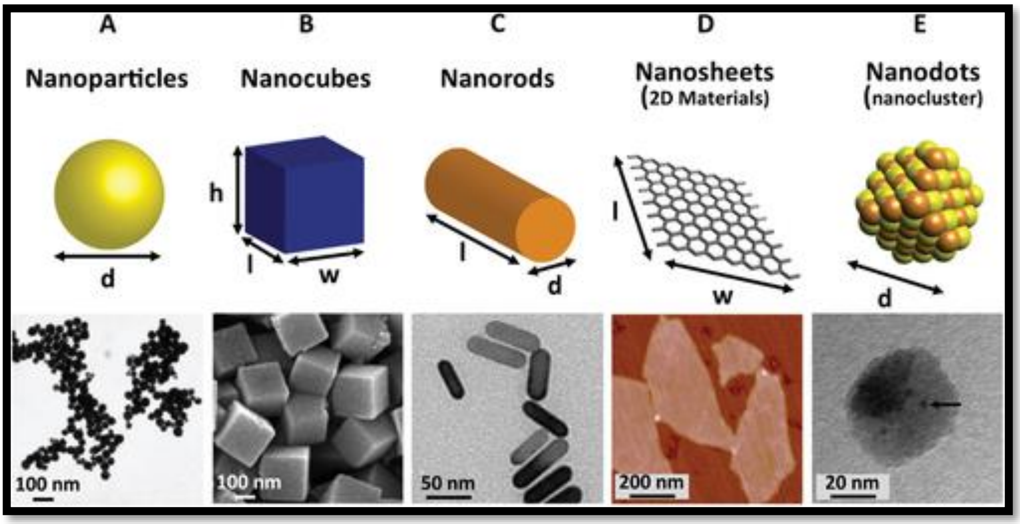

**الشكل (5.1) يوضح بالمجهر الإلكتروني بتكبير يبلغ 5 ملايين للفوليرينات**

## 3.4.1 علم المواد النانوية Nanomaterials

المواد النانوية هي مواد كيميائية أو مواد تتكون من جزيئات صغيرة جدًا بأشكال وأحجام مختلفة لا يزيد حجمها عن مائة نانومتر، أو أقل بحوالي ألف مرة من سُمك شعرة الإنسان. تحدث في الطبيعة، وقد تكون نتاجًا عرضيًا للنشاط البشري (مثل أبخرة اللحام) أو تم تصنيعها وهندستها عن عمد لإظهار خصائص جديدة مثل القوة المتزايدة أو التفاعل الكيميائي أو الموصلية مقارنة بنفس المادة بدون ميزات المقياس النانوي. المئات من المنتجات التي تحتوي على مواد متناهية الصغر قيد الاستخدام بالفعل. ومن الأمثلة على ذلك المستشعرات الجديدة والأجهزة الطبية والبطاريات والطلاء والملابس المضادة للبكتيريا. تحتوي حوالي 1.5٪ من جميع مستحضرات التجميل الجديدة المُبلغ عنها في أوروبا على مواد نانوية. يتوقع المحللون أن تنمو الأسواق بشكل كبير في المستقبل القريب. يُنظر إلى ابتكارات النانو في العديد من القطاعات بما في ذلك الصحة العامة والتوظيف والسلامة والصحة المهنية ومجتمع المعلومات والصناعة والابتكار والبيئة والطاقة والنقل والأمن والفضاء .تثبت المواد النانوية قدرتها على تحسين نوعية الحياة والمساهمة في القدرة

التنافسية الصناعية في أوروبا. ومع ذلك، فإن أي مواد جديدة قد تشكل أيضًا مخاطر على البيئة وتثير مخاوف تتعلق بالصحة والسلامة. تخضع المخاطر الناجمة عن تصنيع واستخدام المواد النانوية، وإلى أي مدى يمكن معالجتها من خلال تدابير تقييم وإدارة المخاطر الحالية في الاتحاد الأوروبي، للمراجعة العلمية والتنظيمية. تم إجراء آخر مراجعة، المراجعة التنظيمية الثانية للمواد النانوية، قبل عقد من الزمن، ولكن تمت مراجعة استنتاجاتها بشأن النهج المتبع في القطاعات الفردية وتأكيدها منذ ذلك الحين. كان الاستنتاج العام حتى الآن هو أن المواد النانوية ليست في حد ذاتها أكثر أو أقل خطورة من المواد الكيميائية الأخرى (قد يكون بعضها والبعض الآخر ليس كذلك) والإطار التنظيمي العام للمواد الكيميائية مناسب. ومع ذلك، كانت هناك حاجة واضحة لتضمين أحكام خاصة بالمواد النانوية في كل من التشريعات العامة للمواد الكيميائية (REACH) وتشريعات المنتجات (المبيدات الحيوية، والأجهزة الطبية، ومستحضرات التجميل، والأغذية) لضمان منح التدقيق الكافي على أساس كل حالة على حدة. يجب أن يستند التنفيذ إلى معلومات كافية عن الخصائص الفيزيائية والكيميائية، والأخطار والاستخدام، وتطبيق طرق التقييم المناسبة. في السنوات الأخيرة، تم إيلاء اهتمام خاص لتطوير إرشادات الاختبار والإرشادات الداعمة للتقييمات. (تكنولوجيا البارود النانوي، مركبات السيراميك النانوي، علم التشريب النانوي، التداخل النانوي والعمليات النانوية الأخرى) المخصصة للبحث والتطوير والإنتاج للهياكل النانوية الجديدة والمواد النانوية الوظيفية والمكونات النانوية الذكية ذات الخصائص الفريدة. تتغير الخواص الفيزيائية والكيميائية للمعادن بشكل كبير عن خواص المادة السائبة. ويرجع ذلك في المقام الأول إلى تأثيرات الحجم والشكل، فضلاً عن ارتفاع مساحة السطح إلى نسبة الحجم الملازمة للمواد النانوية. الأهم من ذلك، أن هذا يؤدي إلى تغييرات في الخصائص الأساسية للمادة النانوية، مثل تسريع إطلاق الأيونات، الصلابة، وخصائص plasmonic وsuperparamagnetic. تستجيب المواد النانوية المعدنية بشكل مختلف للمنبهات الخارجية، مثل الضوء في حالة التحفيز الضوئي والنشاط الحراري الضوئي والمغناطيسية في حالة نشاط ارتفاع الحرارة المستحث مغناطيسيًا، على عكس نظيراتها من المعادن الكتلية. بالإضافة إلى الحجم، يمكن أن يؤثر شكل الجسيمات النانوية أيضًا على خصائصها الجوهرية، على سبيل المثال، يمكن أن تتأثر خصائص التحفيز الضوئي، إلى حد كبير من خلال مساحة السطح المحسّنة بينما تتأثر الخصائص البلازمية بشكل المواد النانوية التي تؤثر على الأطوال النسبية على طول سحابة الإلكترون يمكن أن يتردد صداها وبالتالي وظيفة الموجة المحددة. مع التحسينات في تقنيات النانو وعمليات التصنيع، تم إنشاء مجموعة متنوعة من الأشكال النانوية، مثل: الجسيمات النانوية، النانو، الأنابيب النانوية، nanorods، nanoshells ، nanocages، nanostars، nanoflowers،

nanoeggs، nanopcorn ، والعديد من المواد ثنائية الأبعاد الأخرى. كما في الشكل (6.1) صور من أمثلة المواد النانوية. أدت الخصائص الفريدة للمعادن على المستوى النانوي إلى البحث في استخدام هذه المواد النانوية في تطبيقات مختلفة، بدءًا من إلكترونيات الجيل التالي إلى العديد من التطبيقات الطبية الحيوية.

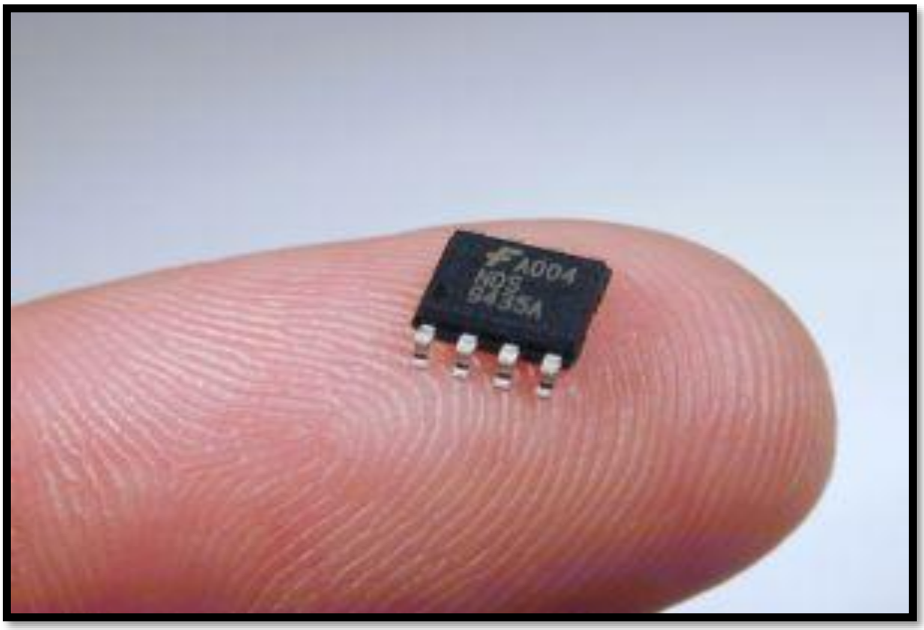



**الشكل (6.1) صور من أمثلة المواد النانوية** [17]

## 4.4.1 الإلكترونيات النانوية Nanoelectronics

إلكترونيات النانو = نانو + إلكترونيات. تهتم الإلكترونيات بما يلي: (1) التحكم في تدفق الإلكترونات من خلال الفراغ أو الغاز الخامل المحيط أو أشباه الموصلات في الحالة الصلبة لبناء الأجهزة مثل الثنائيات والترانزستورات، (2) التصميم وتجميع الدوائر باستخدام المكونات المصنعة في الخطوة (1) للأداء المهام المعينة في معالجة المعلومات والحوسبة والاتصال وتكييف الطاقة. الإلكترونيات النانوية مكرسة لتطبيق علم النانو وتكنولوجيا النانو إلى الإلكترونيات. باختصار، فإنه يمثل استخدام مفاهيم وأساليب النانو في الإلكترونيات. يستلزم التصميم والتصنيع وتطبيقات الأجهزة الإلكترونية والدوائر والأنظمة التي تكون أساس بنائها المكونات ذات الحجم النانوي. يهدف إلى زيادة قدرات الأجهزة الإلكترونية المعتادة بتقليل حجمها ووزنها واستهلاكها للطاقة. يطمح لتقليص حجم الترانزستورات في الدوائر المتكاملة وزيادة كثافة رقائق الذاكرة ذات الكثافة المتوقعة قبل أنظمة اليوم بكثير. الغرض هو حشو وظائف المعدات الحالية مثل أجهزة الكمبيوتر في راحة اليد. بصرف النظر عما سبق، يتم عرض الشاشات على الأجهزة الإلكترونية يتم تحسينها لجعلها أرق

وأخف وزناً نسبيًا مما هي عليه حاليا. تعمل الإلكترونيات النانوية بقوة على دفع تصغير الأجهزة إلى مدى ضرب حدودها الأساسية من وجهة نظر الفيزياء .كما هو معروف، يتنبأ قانون مور بأن عدد الترانزستورات / بوصة $^2$ دائرة متكاملة تتضاعف كل عام. تم تحديد ثلاث مجالات فرعية متميزة للإلكترونيات النانوية. القدرات التي تم تحقيقها ككثافة تعبئة للأجهزة يستمر في الزيادة وفقًا لقانون مور. يعني دمج وظائف إضافية مثل المستشعرات والترددات اللاسلكية والقوة دوائر التكييف، التي لا تتسع وفقًا لقانون مور. يقع العنوان الفرعي CMOS في الأجهزة الأحدث مثل الترانزستورات أحادية الإلكترون والأجهزة الإلكترونية الجزيئية، والتي من المحتمل أن تتولى المسؤولية من CMOS لتحقيق مستويات تكامل أعلى من الممكن مع CMOS.والإلكترونيات الضوئية، والهندسة النانوية المخصصة لتطوير العمليات التكنولوجية الجديدة، والمحركات النانوية، والمحركات النانوية، والأجهزة النانوية، والأنظمة الميكانيكية الكهروضوئية الدقيقة (MEMS، MOEMS)، والدوائر الداخلية الكبيرة جدًا(ULCI) ، والروبوتات النانوية، إلخ.



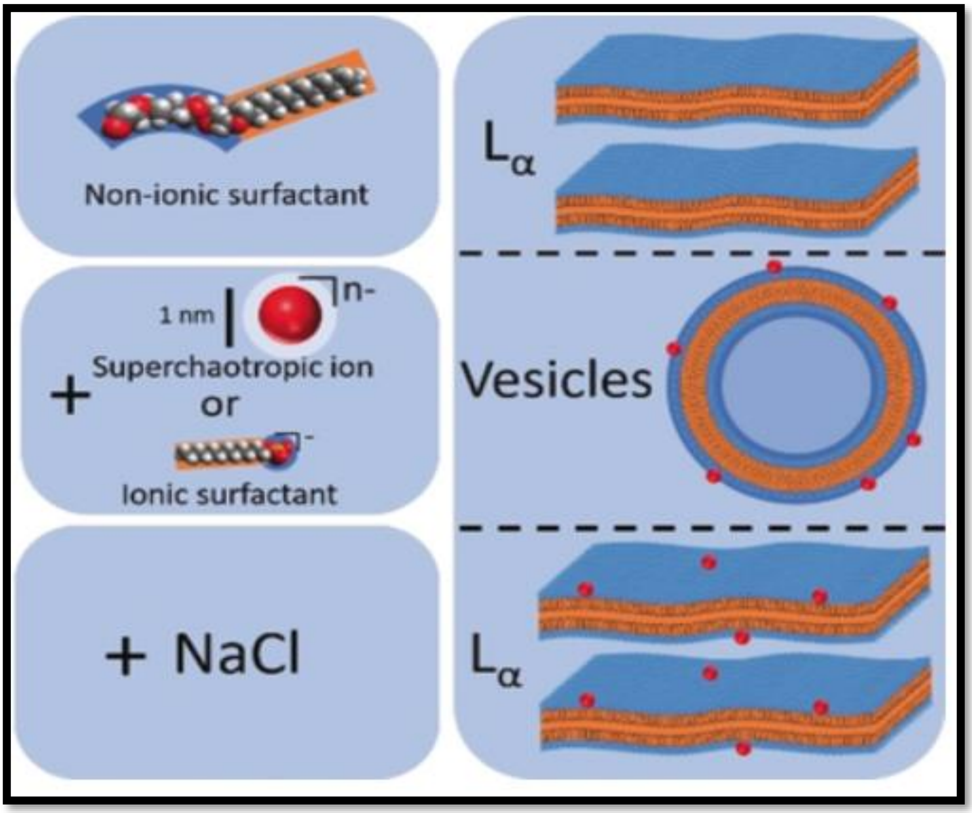

**الشكل (7.1) شكل يوضح أحد الاشياء لنانو الكترونيك**

## 5.4.1 الأيونات النانوية Nano ions

تشتمل الأيونات بحجم نانومتر على مجموعة كبيرة ومتنوعة من البنى الجزيئية المختلفة، والتي أثارت اهتمامًا متزايدًا في السنوات الأخيرة بسبب خصائصها الرائعة. تشترك الفئات الكيميائية التي تم فحصها بشكل شائع، على سبيل المثال، polyoxometalates (POMs)ومجموعات البورون، في الأبعاد الجزيئية حول نانومتر واحد، مع الاحتفاظ بشحنات غير محددة نسبيًا قليلة نسبيًا. وبالتالي تتميز هذه الأيونات النانوية بكثافة شحنة أقل بكثير مقارنة بالأيونات الكلاسيكية مثل Cl أوSCN هذا المزيج من الشحن المنخفض والحجم الكبير يؤدي إلى خصائص مثيرة للاهتمام، حيث أنها تُظهر سلوكًا غروانيًا وشبيهًا بالملح. وهكذا فقد تبين، من ناحية، أنPOMs تمتص على الأسطح الرطبة المحايدة، مثل المذيلات أسطح الماء والهواء المغطاة بمواد خافضة للتوتر السطحي، والبوليمرات و من ناحية أخرى، يرتبط هذا الدوديكابوران و metallacarboranes بالتجويف الكارهة للماء في جزيئات المضيف الشائعة، أي الدراجات الكبيرة مثل cyclodextrins، وبالتالي تكوين مجمعات مضيف-ضيف فوق الجزيئية. تخترق قشرة الماء من الركيزة، مما يؤدي إلى إطلاق مفضل ديناميكيًا لجزيئات الماء في الكتلة. تم تفسير هذه الظاهرة التي تتوسط فيها المذيبات على أنها مظهر من مظاهر التأثير المتماثل. نظرًا لأن التأثيرات المرصودة مع الأيونات النانوية منخفضة الكثافة الشحنة هي أوامر من حيث الحجم أقوى من تلك التي تحدثها أملاح هوفمايستر ذات التشوهية التقليدية، مثل I أو SCN ، فقد تمت الإشارة إلى هذه النانو على أنها .superchaotropes وتجدر الإشارة إلى أن الأيونات النانوية ذات الكثافة الأقل شحنة، أي بشخصية كارهة للماء أكثر وضوحًا، تظهر بعض الميل للتجمع الذاتي في الماء، على سبيل المثال، Keggintype phosphotungstate، $PW_{12}O_{403}$ ، بعض POMs العملاقة مثل تلك من نوع Keplerate ، و dodecaborated المهلجنة.

من بين مجموعات الأيونات النانوية وعناقيد البورون، تبرز مركبات metallabisdicarbollides، لأنها تعرض خصائص المواد الخافضة للتوتر السطحي: التجميع الذاتي في الماء ، نشاط السطح ، الرغوة ، وتشكيل الأطوار الليوتروبية على الأرجح عن طريق الجمع بين الكراهية العالية للماء ، والقطبية الجزيئية (أو التوزيع متباين الخواص للشحنة) ، وتكوين رابطة ثنائي الهيدروجين داخل الجزيئية. بالإضافة إلى ذلك، أيونات (عضوية) كارهة للماء مثل tetraphenylborate كما تم تسميته superchaotropesفيما يتعلق بميلها إلى كثف إلى واجهات كارهة للماء. إن تطور نقطة السحابة (CP) لخافض التوتر السطحي غير الأيوني كدالة لتركيز الأيون النانوي (الملح) قد خدم كأداة قوية لتصنيف الخواص الفائقة في POMs. CP هو فصل طور سائل / سائل ناتج عن الحرارة لمرحلة micellar إلى طور micellar مركّز ومخفف. ينشأ فصل الطور

هذا عن جفاف الرؤوس القطبية للمادة الخافضة للتوتر السطحي التسخين، مما يؤدي لاحقًا إلى زيادة فيmicellar الحجم / التباين، أي زيادة في تعبئة الفاعل بالسطح المعلمة، ثم إلى فصل الطور. إضافة يمكن أن يكون للملح تأثيران متعاكسان: انخفاضCP ، والذي يلمح إلى ارتفاع عوامل الجذب بين مرحلة تعزيزmicelles الفصل (تأثير التمليح) أو يزيد CP، مما يشير إلى نمو التنافر بين الخلايا، مما يمنع فصل الطور (تأثير التمليح). وتبين أن زيادة هائلة في الإنتاج الأنظف لخافض التوتر السطحي قصير السلسلة، تيترا إيثيلين جليكول ن-أوكتيل إيثر (C8E4) ، الناجم عن الأيونات فائقة الخواص كان بسبب نمو بين الخلايا الباعثة على النفور القوى عند امتصاص هذه الأيونات النانوية في نطاق ملي متر عند سطح ميسيلار. هنا، تأثيرsuperchaotropic كانت الأيونات ذات الطبيعة الكيميائية المختلفة امتد إلى سلوك الطور للمواد الخافضة للتوتر السطحي ذات السلسلة الأطول (الرأس والذيل)(Pentaethyleneglycol n-dodecyl ether (C12E5 تم اختياره كنظام نموذجي لأنه يظهر في المخفف النظام، مجموعة واسعة من الهياكل من كروية ممدود المذيلات لتورم الصفائحية والاسفنجية متذبذبة الأطوار، عن طريق ببساطة زيادة درجة الحرارة. في ما يلي، يكون التركيز مصنوع على silicotungstate ، SiW12O404 ، كممثل للأيونات النانوية الخارقة. المخصصة لتطوير مجمعات آلية حيوية جديدة، مثل الرقائق النانوية، الروبوتات النانوية، إلخ. تم العثور على أيونات النانو غير العضوية لتعمل مثل المواد الخافضة للتوتر السطحي الأيونية (العضوية) عند إضافتها إلى المحاليل المخففة للمواد الخافضة للتوتر السطحي غير الأيونية، مما يؤدي إلى تكوين حويصله عن طريق الامتصاص وبالتالي شحن المرحلة الصفائحية غير الأيونية كهربائيًا. على الرغم من اختلافها جوهريًا، يمكن أن تعمل الأيونات النانوية كبدائل للمواد الخافضة للتوتر السطحي الأيونية.




**الشكل (8.1) أيونات النانو غير العضوية لتعمل مثل المواد الخافضة للتوتر السطحي الأيونية (العضوية)**[18]

## 6.4.1 علم القياس النانوي Nanometrology

وبناء الأجهزة النانوية، والحرف اليدوية النانوية المخصصة لتطوير الأدوات النانوية الخاصة، والأجهزة، والمعلومات والأنظمة الحسابية لدعم NT نفسها. يعكس ارتباط هذه العلوم بتقنية النانو كلاً من ترابطها المتأصل حول الكائنات النانوية والتغير في نموذج التكنولوجيا، أي المواد النانوية أو الأجهزة النانوية أو النظام النانوي يبدو أنه تم تصنيعه من خلال التجميع الاصطناعي التلقائي أو التجميع الذاتي من الجزيئات أو المجموعات ككل، في الموقع، في المكان، في العملية التكنولوجية المفردة التي تدمجها في الأجهزة الدقيقة، بدلاً من تجميع المكونات المختلفة كما هو الحال الآن.

## 7.4.1 الجسيمات النانوية Nanoparticles

تعرف الجسيمات النانوية بأنها مشتتات جسيمية أو جسيمات صلبة يتراوح حجمها بين 10-1000 نانومتر. يتم إذابة الدواء أو حبسه أو تغليفه أو إرفاقه بمصفوفة الجسيمات النانوية. اعتمادًا على طريقة التحضير، يمكن الحصول على الجسيمات النانوية أو الكرات النانوية أو الكبسولات النانوية. الكبسولات النانوية عبارة عن أنظمة يقتصر فيها الدواء على تجويف محاط بغشاء بوليمر فريد، في حين أن الأغلفة النانوية عبارة عن أنظمة مصفوفة يتم فيها تفريق الدواء فيزيائيًا وموحدًا. في السنوات الأخيرة، تم استخدام الجسيمات النانوية البوليمرية القابلة للتحلل الحيوي، وخاصة تلك المغلفة بالبوليمر المحب للماء مثل بولي (الإيثيلين جلايكول) (PEG) المعروف باسم الجسيمات طويلة الدوران، كأجهزة محتملة لتوصيل الأدوية بسبب قدرتها على الدوران لفترة طويلة من الوقت تستهدف عضوًا معينًا، كحاملات للحمض النووي في العلاج الجيني، وقدرتها على توصيل البروتينات والببتيدات والجينات. تتمثل الأهداف الرئيسية في تصميم الجسيمات النانوية كنظام توصيل في التحكم في حجم الجسيمات وخصائص السطح وإطلاق المادة الفعالة دوائيًا من أجل تحقيق التأثير المحدد للموقع للدواء بالمعدل العلاجي الأمثل ونظام الجرعات. على الرغم من استخدام الجسيمات الشحمية كناقلات محتملة لها مزايا فريدة بما في ذلك حماية الأدوية من التدهور، واستهداف موقع التأثير وتقليل السمية أو الآثار الجانبية، تطبيقاتها محدودة بسبب المشاكل الكامنة مثل انخفاض كفاءة التغليف، والتسرب السريع للمياه عقار زيتي في وجود مكونات الدم وضعف استقرار التخزين. من ناحية أخرى، تقدم الجسيمات النانوية البوليمرية بعض المزايا المحددة على الجسيمات الشحمية. على سبيل المثال، فهي تساعد على زيادة استقرار الأدوية / البروتينات وتمتلك خصائص تحرير خاضعة للرقابة. تشمل مزايا استخدام الجسيمات النانوية كنظام لتوصيل الأدوية ما يلي:

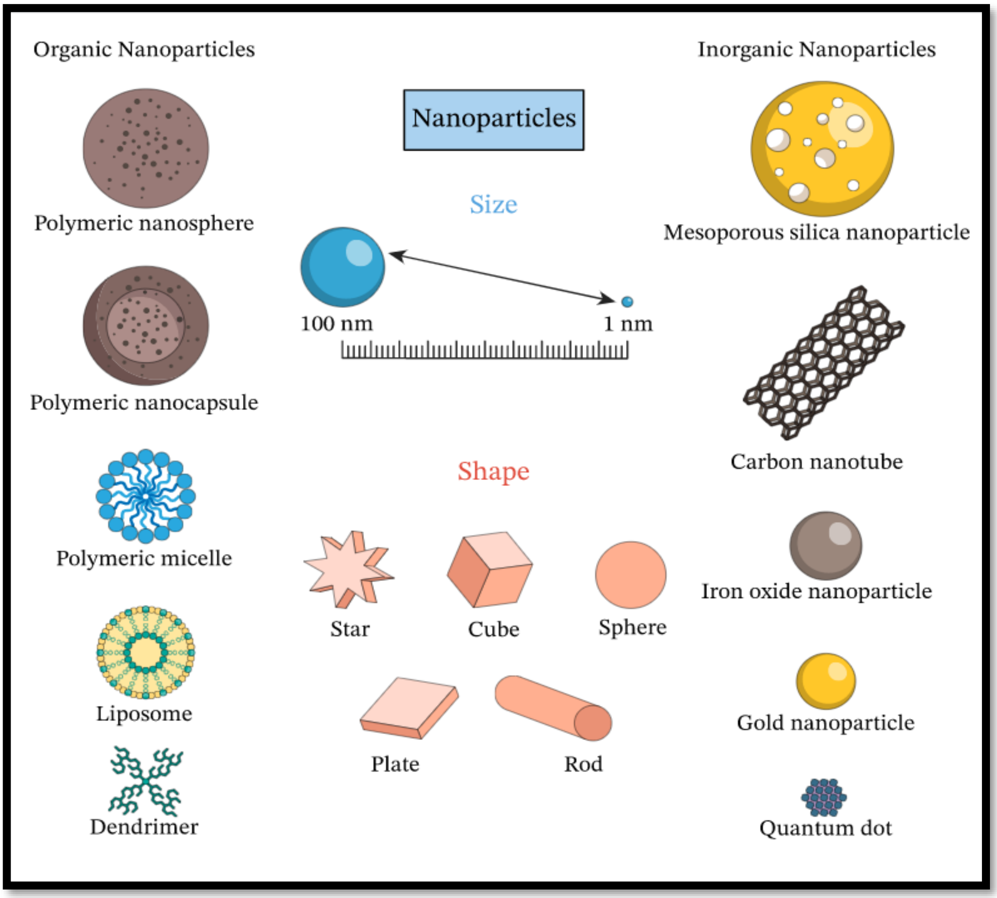
1 .يمكن التلاعب بسهولة بحجم الجسيمات وخصائص سطح الجسيمات النانوية لتحقيق الاستهداف السلبي والنشط للعقاقير بعد الإعطاء بالحقن.

2 .يتحكمون في إطلاق الدواء ويحافظون عليه أثناء النقل وفي موقع التوطين، ويغيرون توزيع الأعضاء للدواء والتخليص اللاحق للدواء. لتحقيق زيادة في الفعالية العلاجية للأدوية وتقليل الآثار الجانبية.

3 .يمكن تعديل خصائص الإطلاق المتحكم فيه وتحلل الجسيمات بسهولة عن طريق اختيار مكونات المصفوفة. تحميل الدواء مرتفع نسبيًا ويمكن دمج الأدوية في الأنظمة دون أي تفاعل كيميائي؛ هذا عامل مهم للحفاظ على نشاط الدواء.

4 .يمكن تحقيق الاستهداف الخاص بالموقع بواسطة ربط الروابط المستهدفة بسطح الجسيمات أو استخدام التوجيه المغناطيسي.

5 .يمكن استخدام النظام لطرق مختلفة للإعطاء بما في ذلك الفم والأنف والحقن وداخل العين وما إلى ذلك. على الرغم من هذه المزايا، فإن الجسيمات النانوية لها قيود. على سبيل المثال، يمكن أن يؤدي صغر حجمها ومساحة سطحها الكبيرة إلى تراكم جزيئات الجسيمات، مما يجعل المناولة المادية للجسيمات النانوية صعبة في الأشكال السائلة والجافة. بالإضافة إلى ذلك، حجم الجزيئات الصغيرة وسطح كبير منطقة تؤدي بسهولة إلى تحميل مخدرات محدود وإطلاق رشقات. يجب التغلب على هذه المشكلات العملية قبل استخدام الجسيمات النانوية سريريًا أو إتاحتها تجاريًا. توضح المراجعة الحالية أحدث التطورات في أنظمة توصيل الأدوية النانوية، وقضايا تعديل السطح، واستراتيجيات تحميل الأدوية، التحكم في الإطلاق والتطبيقات المحتملة للجسيمات النانوية. الجسيمات النانوية هي مواد مفيدة للغاية. يتم استخدامها حاليًا لمعالجة الكثير من مشاكلنا الصحية والتكنولوجية. من المتوقع أن يتم استخدامها بشكل أكبر في المستقبل لجعل حياتنا أسهل وجعلنا أكثر صحة. يصف الجدول التالي بعضًا من أهم وأشهر تطبيقات الجسيمات النانوية. قرر العلماء أن جزيئات الذهب والفضة لها القدرة على المرور عبر أغشية الدهون في الثدييات والبكتيريا. تتم الآن دراسة الجسيمات النانوية المعدنية من أجل الجمع بين توصيل الأدوية والتطبيقات المضادة للبكتيريا. يمكن تحسين الجسيمات النانوية المعدنية لأغراض توصيل الأدوية، ويمكن تحسينها للدخول إلى الخلايا البكتيرية وتفكيكها. يُعتقد أيضًا أن الجسيمات النانوية المعدنية ستُستخدم في صنع دوائر كهربائية مجهرية لأن الجسيمات النانوية المعدنية يمكنها توصيل الكهرباء. من المثير للاهتمام ملاحظة أن العديد من الجسيمات النانوية المعدنية تميل أيضًا إلى امتلاك ألوان غير عادية وقيم صلابة. جسيمات النحاس النانوية صلبة بشكل مدهش، ويمكن أن يكون للذهب النانوي اللون الأحمر أو البرتقالي أو الأخضر أو الأزرق. يمكن استخدام أنواع مختلفة من الجسيمات النانوية في صناعة الأفلام والأسلاك والألياف. هذه أمثلة على المواد النانوية أحادية البعد، وهي مواد نانوية لها بعد نانوي واحد. تستخدم الأغشية الرقيقة لحماية الطعام ومنع إفساده. يمكن استخدامها أيضًا لتغطية الأسطح، بشكل مشابه للطلاء، لمنع الصدأ أو التآكل. تُستخدم أسلاك النانو أحادية البعد في الدوائر الإلكترونية، وتوجد ألياف نانوية صغيرة جدًا داخل فلاتر المياه لدينا لضمان سلامة المياه للشرب. يتم أيضًا تعديل الجسيمات النانوية الدهنية لأغراض توصيل الأدوية. الجسيمات الشحمية هي جسيمات نانوية صغيرة تتكون من جزيئات دهنية. يتم تغيير خصائص الجسيمات الشحمية لجعلها أقوى ولجعلها أكثر فاعلية في الدخول إلى الخلايا المستهدفة في جميع أنحاء جسم الإنسان.[19]

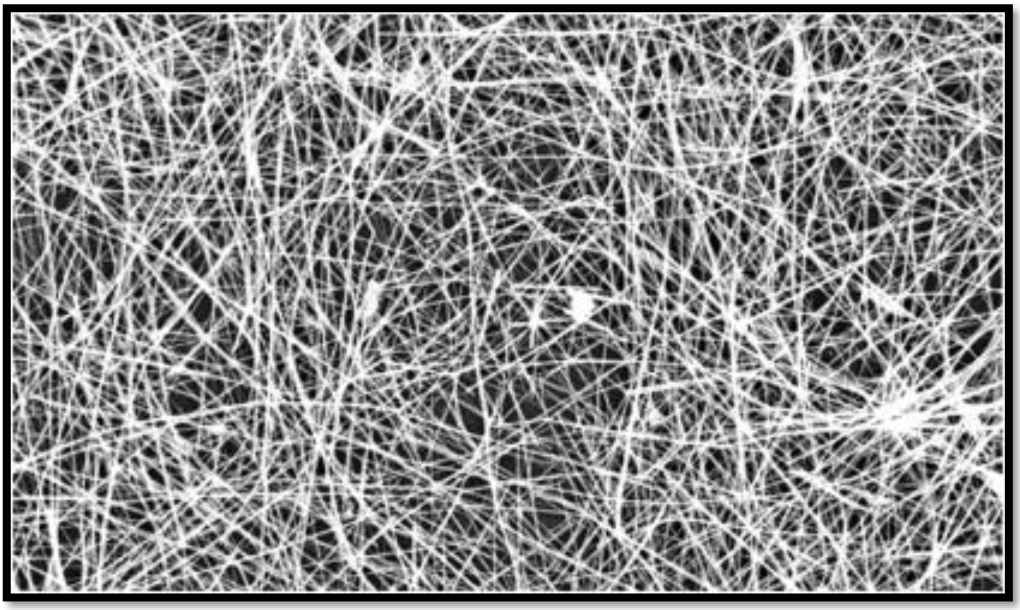



**الشكل (9.1) يوضح الجسيمات النانوية العضوية والغير عضوية**

## 8.4.1 الأسلاك النانوية Nanowires

قضبان نانوي من مادة شبه موصلة يستخدم في الترانزستورات المصغرة وبعض تطبيقات الليزر. تعتبر الجسيمات النانوية (NPs) كائنات نانوية يتراوح حجمها من 10 إلى1000 نانومتر. فإن NPs لديهم أيضًا القدرة على التغلب على العديد من القيود المفروضة على النواب. في الواقع لصغر حجمها، فإنها تقدم مساحة سطح محددة أعلى بكثير، لأن إجمالي مساحة سطح الجسيم يتناسب عكسًا مع قطره. مع ذلك، فإن هذا التخفيض في الحجم يتيح إدارة أسهل. في واقع الأمر، فإن NPs أكثر ملاءمة للإعطاء بالحقن، بينما تستخدم MPs بشكل شائع كغرسات، حيث يبلغ قطر الشعيرات الدموية 5-6 لومن. بالإضافة إلى ذلك ، تم الإبلاغ عن كفاءة امتصاص الهياكل النانوية في الأنسجة المعدية المعوية للفئران بحوالي 15-250 مرة عن تلك الجزيئات ذات الأحجام التي تتراوح من 1-10 لومن ، فإن NPs

لها أحجام في نفس نطاق الكيانات التي تتحكم في الوظائف الخلوية الأساسية بالإضافة إلى ذلك ، تعتمد بعض الخصائص على الحجم ولا توجد إلا في المقياس النانوي ، مثل الاستجابة الضوئية أو المغناطيسية، مما يسمح باستخدامها أيضًا كأجهزة تشخيص / تصوير[13]. هناك أنواع مختلفة من الأسلاك النانوية مثل التوصيل الفائق والمعدني وأشباه الموصلات والعزل. تتضمن تقنية تحضير الأسلاك النانوية (الشكل 10.1):[20]

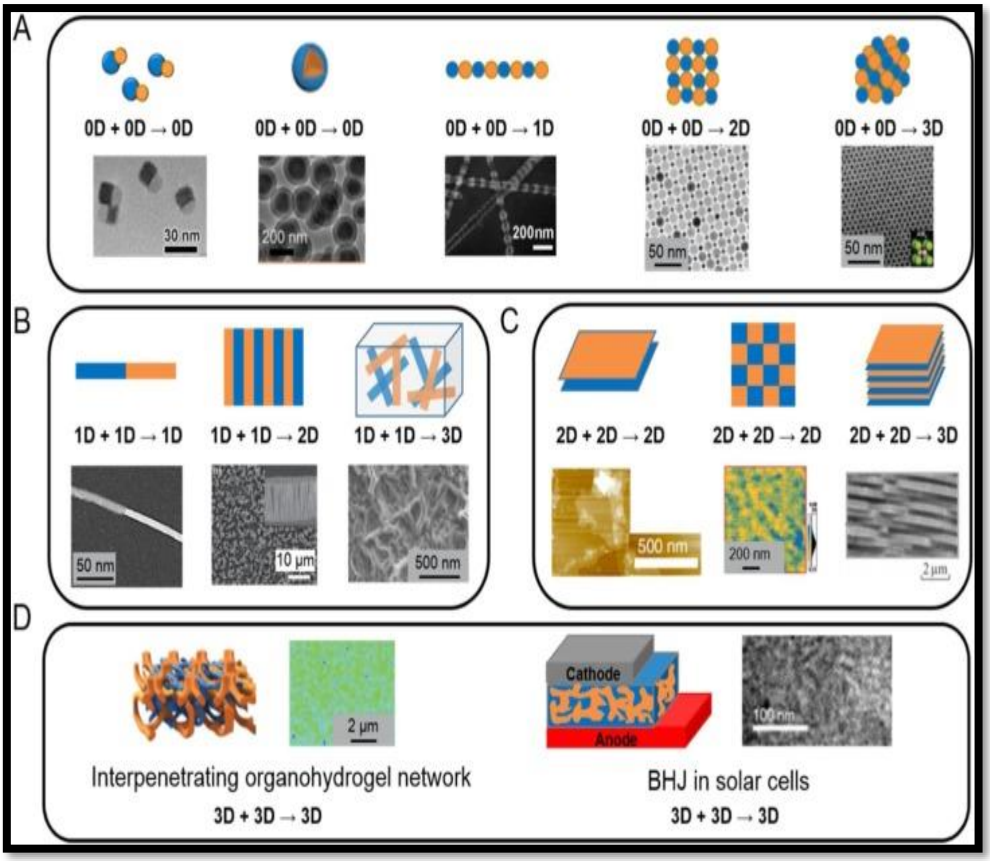


**الشكل (10.1) يوضح شكل الاسلاك النانوية**

## 5.1 تصنيف المواد النانوية على أساس الأبعاد

## Classification of Nanomaterials Based on Dimensionality

تنقسم المواد النانوية على أنواع مختلفة بناءً على أبعادها. يتم تصنيفها على أن أبعادها 0D و 1Dو2D و3D. يمكن أن تكون الجسيمات النانوية متبلورة وغير متبلورة. تعرض أشكالًا مختلفة وفقًا لأبعاد الكرة المجوفة والأنابيب النانوية والألياف النانوية والأغشية النانوية والأسلاك النانوية والألواح النانوية [21] ، كما مبين في الشكل (11.1) .




**الشكل (11.1). نموذج يوضح تصنيف المواد النانوية من حيث ابعادها : صفرية البعد و احادية البعد و ثنائية البعد و ثلاثية البعد** [22]

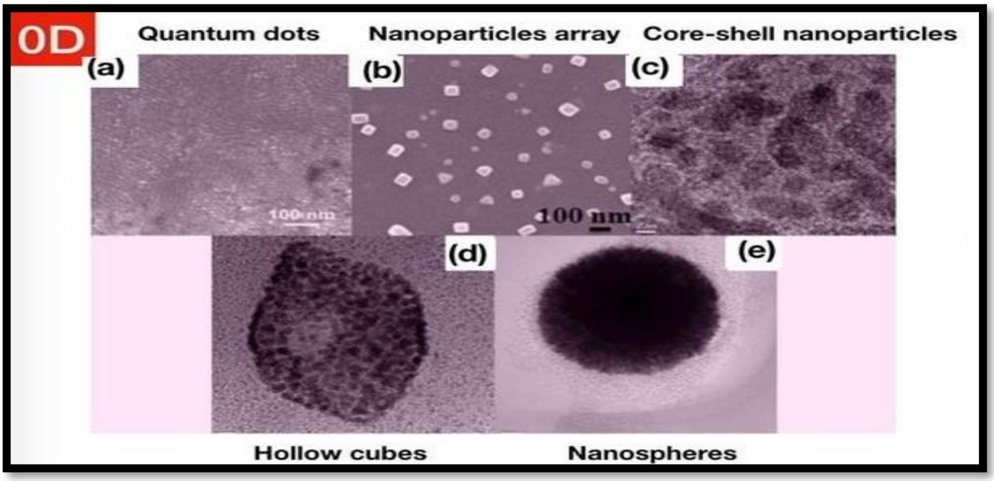
هناك عدة طرق لتصنيف الجسيمات النانوية. ينشأ التصنيف الأول من مصدر المواد النانوية، والتي يمكن أن تكون طبيعية أو من صنع الإنسان. يأتي الاختلاف الآخر من حقيقة ما إذا كانت المنتجات النهائية أو المنتجات الثانوية المرغوبة، علاوة على ذلك، يمكن أن تكون بشكل عام عضوية أو غير عضوية. فيما يتعلق بالنقطة الأولى، فإن الجسيمات النانوية هي نتاج التكنولوجيا الحديثة، ولكنها تتولد أيضًا في الأحداث الطبيعية مثل ثورات البراكين، وحرائق الغابات، والهباء الجوي، أو حبيبات الرمل متناهية الصغر من أصل معدني (مثل الأكاسيد والكربونات). يتم إنشاء بعض الجسيمات متناهية الصغر عن غير قصد عن طريق احتراق الوقود الأحفوري أو أثناء الشواء وهي من منتجات الأنشطة البشرية. يعتمد التصنيف البسيط على نوع المواد النانوية، أي (1) المواد النانوية القائمة على الكربون، (2) المواد النانوية غير العضوية، (3) المواد النانوية العضوية باستثناء المواد النانوية

الكربونية، و (4) المواد النانوية المركبة. علاوة على ذلك، يمكن تصنيف المواد النانوية فيما يتعلق بأبعادها (الحجم)، والتشكل (الشكل)، وتركيب خصائص السطح، والتوحيد، والوظيفة، والتكتل. بالنسبة للنقطة الأخيرة، يمكن تمييز منتجات تكنولوجيا النانو على أساس مظهرها: يمكن أن تكون مساحيق، مشتتات (مساحيق في سوائل)، طلاءات (طبقة رقيقة تغطي السطح)، مواد صلبة كبيرة (على سبيل المثال، ربط الجزيئات الصلبة من خلال الجسيمات النانوية المشهورة بشعيرات النانو). في إطار تقنية النانو، يشير مصطلح "نانو" بشكل حصري تقريبًا إلى طول الجسيم. يقتصر عالم النانو على تلك "الأشياء التي يمتد امتدادها في جميع الأبعاد الثلاثة بين 1 و 100 نانومتر. تسمى تلك التي تمتد في بعدين فقط على مقياس نانومتر بالأنابيب النانوية والأجسام الجسيمية. تسمى تلك التي لها بعد واحد فقط أقل من 100 نانومتر الخلايا النانوية ". فيما يلي، سيتم توضيح بعض الخصائص بشكل أفضل للتصنيف، بدءًا من أكثر الخصائص تميزًا، وهي الأبعاد.[23]

### 1.5.1 المواد النانوية ذات الأبعاد الصفرية (0D)

### Zero-Dimensional (0D) Nanomaterials

هي تلك المواد التي يتم قياسها داخل المقياس النانوي [24] أي بحجم أقل من 100 نانومتر جميع ابعادها اصغر من 100 نانومتر تم إحراز تقدم كبير في مجال 0D-NSM على مدى السنوات العشر الماضية. تم تصنيع عدد من 0D-NSMs ذات أبعاد مضبوطة جيدًا بواسطة طرق فيزيائية وكيميائية مختلفة. تتضمن بعض هذه القيم 0D-NSM مصفوفات الجسيمات المتجانسة ومصفوفات الجسيمات غير المتجانسة أمثلة على المواد النانوية (NMs) ذات الأبعاد الصفرية هي الجزيئات النانوية (NPs) و النقاط الكمومية (QDs) وكرة مجوف و جسيمات نانوية ومجاميع الجسيمات النانوية ، والعدسات النانوية ، و QDs الأساسية للقذيفة [25–29]




**الشكل (12.1) صور المجهر الإلكتروني الماسح والمجهر الإلكتروني النافذ للمواد النانوية صفرية البعد** [30]

## 1.1.5.1 النقاط الكمومية Quantum dots

QDs هي 0D-NSMs ، مما يعني أنها جزيئات صغيرة أو بلورات نانوية لأشباه الموصلات بأبعاد في حدود 1-10 نانومتر. تتمتع QDs بخصائص طيفية استثنائية مثل الامتصاص الواسع والانبعاث الضيق لطول الموجة؛ كما أنها تعتمد على الحجم. مثل الذرات، تمتلك QDs أيضًا مستويات طاقة كمية بسبب حبس الإلكترونات وقيمة عالية لنسبة السطح إلى الحجم. تم إجراء الكثير من الأبحاث في مجال مواد البنية المجهرية لتحسين خصائصها البصرية والإلكترونية لتطبيقات محددة. تم تصميم الهيكل الإلكتروني لهذه المواد عن طريق تغيير تكوينها أو عن طريق حصر الإلكترونات في حجم النانو. تصبح البلورات النانوية QDs إذا كانت الإلكترونات محصورة في جميع الاتجاهات الثلاثة من خلال تطبيق حاجز محتمل.

### 1.1.1.5.1 الخصائص البصرية لنقاط الكمومية Optical properties of QDs

الإلكترونات في QDs محصورة في مساحة صغيرة، على سبيل المثال صندوق الكم، نظرًا لصغر حجمها. وفقًا لمبدأ استبعاد باولي ، يتم تحديد مستويات الطاقة عندما يكون نصف قطر أشباه الموصلات البلورية النانوية أقل من نصف قطر إكسيتون بور. نظرًا لمستويات الطاقة المنفصلة في QDs، فإنها ترتبط ارتباطًا وثيقًا وتتصرف مثل ذرة فردية بدلاً من

مواد سائبة. لهذا يطلق عليهم أيضًا اسم الذرات الاصطناعية. مع انخفاض حجم البلورة، يزداد فرق الطاقة (طاقة فجوة النطاق) بين نطاقي التوصيل والتكافؤ. في هذه الحالة، يتطلب الأمر كمية كبيرة من الطاقة لإثارة النقطة. علاوة على ذلك، سيتم إطلاق طاقة زائدة بعد إعادة تركيب الإلكترون وتكوين طيف انبعاث يتراوح لونه من الأحمر إلى الأزرق. ومن ثم، يمكن استنتاج أن هناك علاقة عكسية بين فجوة الطاقة وحجم المواد النانوية. تنبعث QDs ذات الحجم الأكبر أطوال موجية كبيرة (على سبيل المثال، الضوء الأحمر)، أصغر QDs تبعث أصغر الأطوال الموجية (مثل الضوء الأزرق) وتصدر QDs متوسطة الحجم ألوانًا خضراء وألوانًا أخرى اعتمادًا على حجم QDs. لذلك، يمكن أن تنبعث QDs ضوءًا من أي طول موجي عن طريق تغيير حجمها

### 2.1.1.5.1 الخصائص الإلكترونية لـQDs Electronic properties of QDs

ميكانيكي الكم، يتم شرح التركيب الإلكتروني والخصائص الإلكترونية لأي مادة في الغالب من حيث كثافة الحالات (DOS). في QDs، يحدث التغيير المسيطر في حالات طاقة المادة، أي من حالات الطاقة المستمرة في المواد السائبة إلى حالات الطاقة المنفصلة. تحتوي QDs على مستويات طاقة منفصلة وتتكون DOS الخاصة بها من قمم حادة تتوافق مع مستويات الطاقة المنفصلة أو الطاقة الذاتية للإلكترونات في QDs. علاوة على ذلك، من المعروف بالفعل أن QDs في العينة التجريبية ليست كلها بنفس الحجم ولديها طاقات ذاتية مختلفة، لذلك، يتم توزيع قمم DOS الحادة حول متوسط طاقة مختلف مماثل لمتوسط الحجم في الرسم البياني. في أشباه الموصلات السائبة، يتناسب DOS طرديًا مع الجذر التربيعي لطاقة الإلكترون.

### 3.1.1.5.1 طرق تصنيعQDs

في القسم التالي، نناقش تقنيات تصنيع مختلفة من QDs. وهي تشمل البلورات النانوية شبه الموصلة أو QDs، وQDs المجمعة ذاتيًا، وQDs المستندة إلى الطباعة الحجرية، وللتأثير الميداني QDs

### 4.1.1.5.1 بلورات أشباه الموصلات النانوية QDs

يتم إنتاج QDs البلورية النانوية (NCQDs) التي يبلغ قطرها حوالي بضع نانومترات بسهولة عن طريق الطحن الميكانيكي للبلور العياني. تتميز NCQDs بخصائص إلكترونية وبصرية فريدة. تحدد أبعاد NCQDs لونها. حاليًا، تعد CdSe NCQDs و NCQDs

للسيليكون و InAs / GaAs QDs و GaAs / GaSb QDs و GaN / AlN QDs أحجار الزاوية للعمل البحثي. يتم وصف الخصائص المختلفة لهذه NCQDs في الأقسام التالية.

**1- CdSe NC QDs**

سيلينيد الكادميوم (CdSe) عبارة عن بلوري كروي بهيكل من مزيج الورتزيت أو الزنك ويتراوح قطره بين 10 و 100 درجة مئوية. يتم تحضير CdSe NCQDs عن طريق إضافة $Cd(CH3)_2$ إلى محلول مخزون من مسحوق السيلينيوم وثلاثي بوتيل فوسفين. يتم تحضير هذا المحلول تحت غاز N2 في الثلاجة. يُسكب أكسيد ثلاثي-ن-أوكتيل فوسفين (TOPO)في دورق تفاعل يتم تسخينه حتى 360 درجة تحت تدفق غاز الأرجون. ثم بعد تبريد دورق التفاعل، يتم الحصول على الحجم المطلوب من مسحوق .NCQDs لتعزيز العائد الكمي واستقرار الصورة، يتم تغطية CdSe NCQDs بكبريتيد الكادميوم.(CdS)

**2- السيليكون NC QDs**

في المقياس النانوي، يتم استخدام السيليكون من قبل الباحثين نظرًا لكونه وفيرًا وغير سام مع نسبة سطح إلى حجم كبيرة. السيليكون SiO2 / عبارة عن مجموعات من السيليكون مزروعة على SiO2 العازل. يتم تحضير Si / SiO2 NCQDs من خلال عملية غرس الأيونات عن طريق سقوط ذرات Si على ركيزة.$SiO_2$ (المادة الأساسية) لم يتم بعد تحديد الهيكل الدقيق لـ NCQDs من السيليكون بشكل جيد، على الرغم من أن قطرها يبلغ حوالي 3 نانومتر وكثافة 2 × 1019 سم$^3$ مذكورة في الأدبيات. كما أن عملية إعادة التركيب في Si NCQDsليست مفهومة جيدًا، فقد اقترح أن عملية إعادة التركيب حدثت في Si NCQDsمن خلال حالات الواجهة. تظهر ظاهرة مثيرة للاهتمام للغاية في نظام الحصر الكمي القوي إذا كان القطر مشابهًا أو أقل من نصف قطر السيليكون، على سبيل المثال 4.2 نانومتر. في مثل هذه الحالات، تتصرف جزيئات Si النانوية كنقاط كمومية.

**3- المستندة إلى الطباعة الحجرية QDs**

تتشكل النقاط الكمومية العمودية (VQDs) إما عن طريق حفر عمود من بئر كمي أو بنية غير متجانسة مزدوجة الحاجز .(DBH) لتصنيعVQDs ، يتم تضمين AlGaAs / InGaAs / AlGaAs DBHفوق ركيزة من خلال تقنية .epitaxy بعد ذلك، يتم حفر العمود الأسطواني من خلال DBH والتجسيد، حيث يتم التحكم في QD كهربائيًا عن طريق

التوصيلات المعدنية. الجهاز النهائي مصنوع بواسطة DBH والبوابة الجانبية. لم يتم تحديد QDsالتي تم تكوينها بواسطة تقنية الطباعة الحجرية من خلال الحفر الكيميائي الرطب والجاف بشكل جيد، حيث تؤدي أنماط الطباعة الحجرية إلى حدوث مخالفات في شكلها أو هياكلها النانوية وتسبب تلفًا ميكانيكيًا للواجهات. لذلك، من الأنسب تصنيع الهياكل الكمومية عن طريق النمو البلوري المباشر أو عملية النمو فوق المحور. أصبح هذا التوليف المباشر للبنى النانوية عن طريق النمو فوق المحور أمرًا جذابًا للغاية نظرًا لقدرته على إنشاء هياكل خالية من التلف.

**4- ذاتية التجميع QDs**

تتشكل QDs المجمعة ذاتيًا بسبب تكوين الجزيرة أثناء النمو غير المتجانس، مثل تكوين قطرات الماء على سطح مصقول ناعم. تُستخدم تقنيات النمو المتقدمة مثل epitaxy الحزمة الجزيئية وepitaxy طور البخار (VPE) لتشكيل QDs المجمعة ذاتيًا. تتشكل هذه الجزر إذا كان هناك عدم تطابق شبكي بين المواد أو إذا كانت الطاقة السطحية للمادة المترسبة ليست هي نفسها الركيزة. يقلل تكوين الجزيرة من الطاقة الكامنة للمواد المترسبة على الركيزة. علاوة على ذلك، هناك ثلاثة أوضاع للنمو فوق المحور: (1) نمو طبقة تلو الأخرى، أو نمو Frank-van der Merwe، في نظام مطابق للشبكة، (2) نمو -Volmer Weber، و (3) نمو طبقة Krastanow Stranski، في نظام شبكي غير متطابق. تتصرف الجزيرة المُجمَّعة ذاتيًا باعتبارها QD عندما تحتوي مادة الجزيرة على فجوة نطاق أصغر من المادة التي تم دمج مادة الجزيرة عليها. على سبيل المثال، في InAs على المادة الاساسية GaAs

**تطبيقات QDs**

في السنوات الأخيرة، تم إحراز عدد من التطورات في أبحاث QD. في هذا القسم، نقدم بعض تطبيقات QDs في سياق هذه التطورات، مثل QDs للحوسبة والاتصالات، وإضاءة الحالة الصلبة، والتصوير الطبي الحيوي، والصمامات الثنائية الباعثة للضوء (LEDs)، وأجهزة الكشف عن الصور، والخلايا الشمسية.

**أ- للحوسبة والاتصالات QDs**

في السنوات الأخيرة، لوحظ تقدم سريع في مجال الحوسبة الكمومية. تستند نظرية الكم في الحساب على جميع قوانين ميكانيكا الكم. QDs عبارة عن هياكل نانوية مصنوعة في المختبر تتحرك فيها حاملات الشحنة في جميع الاتجاهات المكانية الثلاثة. من خلال تطبيق

مجال كهرومغناطيسي خارجي على QDs، يتم تغيير خصائصها الإلكترونية. يمكن استخدام QDs ذات البنية النانوية في أجهزة الكمبيوتر الكمومية في المستقبل.

**ب- للتصوير الطبي الحيويQDs**

تتمتع QDs بالعديد من المزايا في التصوير الطبي الحيوي مثل مجسات الإنارة نظرًا لامتلاكها ثباتًا عاليًا للصور وأطوال موجات انبعاث قابلة للضبط وأطياف امتصاص واسعة ومعامل انقراض كبير. علاوة على ذلك، يمكن تفعيل QDs من خلال ربط مجموعات سطحية مثل الكربوكسيل والأمين للاقتران مع الجزيئات الحيوية مثل الببتيدات والأجسام المضادة، ويمكن استخدام هذه QDs المرتبطة بيولوجيًا كمجسات في تهجين الحمض النووي ومراقبة الطفيليات والهياكل الخلوية والتطبيقات التشخيصية. يتم حاليًا استخدام QDs للتصوير في المختبر وفي الجسم الحي لتشخيص الأمراض وفهم التطور الجنيني

**ج- للديودات الباعثة للضوء QDs**

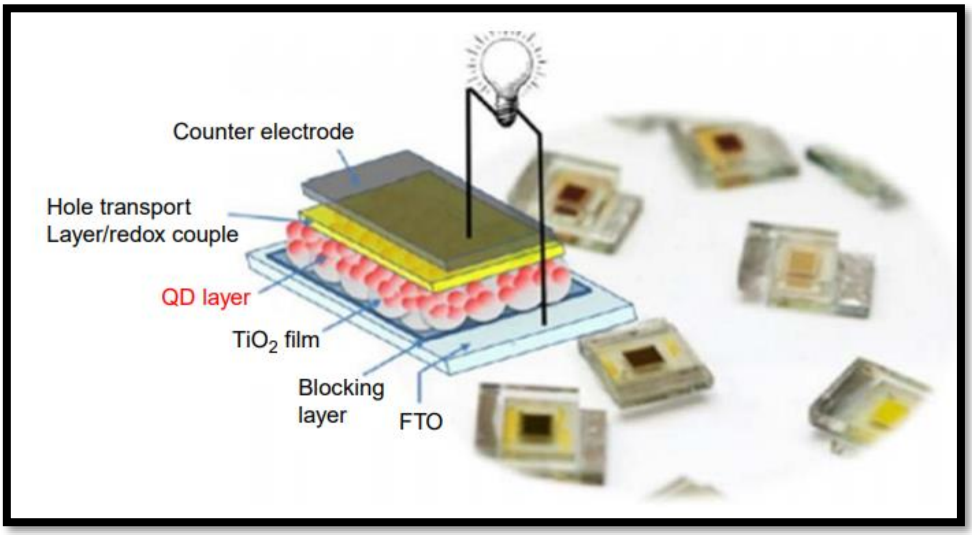
تلعب QDs دورًا مهمًا في تحسين أداء.LEDs (ثنائي باعث للضوء) تُستخدم QDs في العديد من أجهزة العرض نظرًا لخصائصها البصرية الفريدة. تتمتع QDs بالقدرة على عرض ألوان أكثر دقة وتميزًا. في الإضاءة البيضاء وتطبيقات الإضاءة البستانية، تستخدم QDsكفسفور. في هذه، يتم استخدام الضوء الأزرق كمصدر رئيسي للضوء لأنه فعال ورخيص الثمن QDs .المستخدمة في الفوسفور تحول الضوء الأزرق إلى ألوان أخرى. يتم استخدام QDs باللونين الأخضر والأحمر في الإضاءة البيضاء، ولكن يتم استخدام QDsالحمراء فقط في البستنة إضاءة. تُستخدم الإضاءة البستانية في البيوت البلاستيكية للنمو الفعال للنباتات لأن الكلوروفيل النباتي جيد في التقاط الأضواء الحمراء والزرقاء ويسبب انعكاس الضوء الأخضر. يقلل استخدام QDs من تكاليف استهلاك الطاقة.

**د-لأجهزة الكشف عن الصورQDs**

يمكن اكتشاف كل من الأشعة تحت الحمراء والضوء المرئي باستخدام QDs في أجهزة الكشف عن الصور. تستخدم أجهزة الكشف عن الصور التي تكتشف ضوء الأشعة تحت الحمراء في تطبيقات مختلفة مثل كاميرات الرؤية الليلية والمنتجات الطبية الحيوية.

### ذ- للخلايا الشمسيةQDs

الخلايا الشمسية القائمة على QD هي نوع من الخلايا الشمسية يتم فيها استبدال مواد امتصاص الضوء السائبة مثل السيليكون أو سيلينيد الغاليوم بـ QDs. يمكن ضبط فجوة النطاق في QDs على مستويات الطاقة عن طريق تغيير حجمها. هذه الميزة تجعلها مناسبة جدًا لصنع الخلايا الشمسية لتحسين كفاءة تحويل الطاقة كما هو موضح في الشكل (13.1) أظهرت الخلايا الشمسية QD كفاءة تحويل الطاقة بنسبة 66 ٪ باستخدام ناقلات ساخنة مولدة بالصور لإنتاج تيارات ضوئية عالية



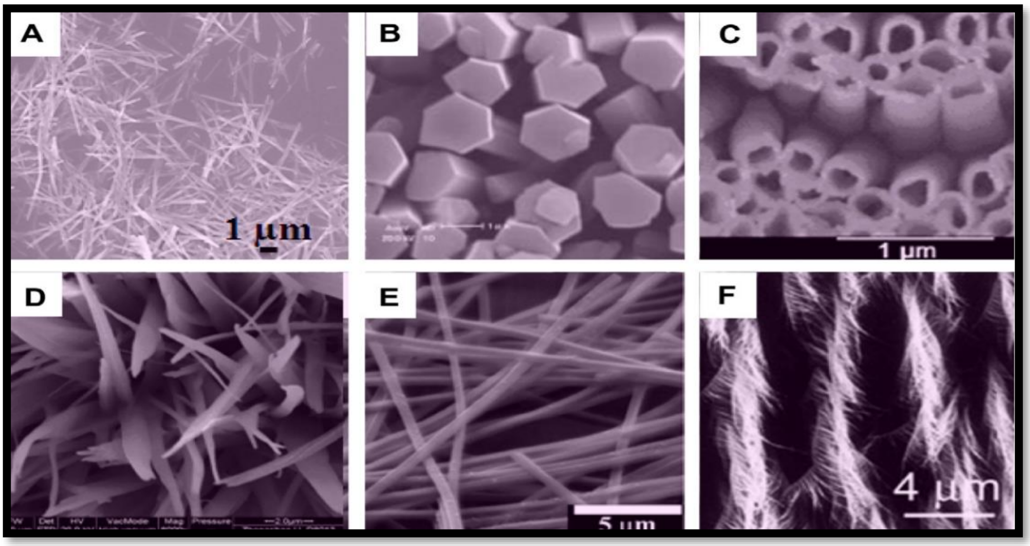

**الشكل (13.1) تشريح خلية شمسية قائمة على QD**

## 2.5.1 المواد النانوية أحادية البعد (1D)

## One-Dimensional (1D) Nanomaterials

هي مواد ذات بعد واحد ليس في المقياس النانوي أي أكبر من 100 نانومتر بينما الأبعاد الأخرى في المقياس النانوي أي التي يقل مقاييس ابعادها عن 100 نانومتر. 1D تم استخدام هذه الهياكل النانوية في العديد من المجالات نظرًا لخصائصها المتفوقة على المواد / الهياكل يشمل المعدن والبوليمر والسيراميك وأنابيب النانو وخيوط النانوية والأسلاك النانوية والألياف النانوية والأقراص النانوية. من المعروف أن الهياكل النانوية 1D مفيدة جدًا في استكشاف الخواص الكهربائية والميكانيكية والحرارية بالإضافة إلى تقليل الحجم. ومع ذلك،

تلعب الهياكل النانوية أحادية الأبعاد دورًا مهمًا كوصلات ووحدات وظيفية في تصنيع وبناء الأجهزة الإلكترونية والكهروميكانيكية والإلكترونية الضوئية والكهروكيميائية. بالإضافة إلى ذلك، فقد تأخر التقدم في الهياكل النانوية 1D بسبب الصعوبات المختلفة المرتبطة بتوليفها وتشكلها ونقاوتها وتركيبها الكيميائي.




**الشكل (14.1) صورة المجهر الإلكتروني الماسح و المجهر الإلكتروني النافذ للمواد النانوية احادية البعد** [29]

## 1.2.5.1 الأنابيب النانوية Nanotubes

تم اكتشاف الأنابيب النانوية الكربونية (CNTs) لأول مرة من قبل العالم Sumio Iijima في عام 1952. تعد الأنابيب النانوية الكربونية واحدة من أفضل الأمثلة على نماذج 1D NSMالتي يتم تصنيعها بواسطة تقنيات التخليق الكيميائي من أسفل إلى أعلى. التركيب الكيميائي وترتيبات الترابط الذري للنفثالينات المكلورة بسيطة للغاية، لكنها تكشف عن التنوع والثراء في جميع الهياكل النانوية. من خلال دحرجة ورقة من الجرافين في أسطوانة، يتم إنتاج الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار (SWNT) مع ناقل شبكي في مستوى الجرافين. من الأسهل تخيل الأنابيب النانوية كأوراق ملفوفة من الجرافين المغلقة في النهايات. يتم تحديد الأنابيب النانوية الكربونية من خلال معلمتين، القطر والتزاوج المشار إليهما بواسطة m و n. يتم تعريف Chirality على أنها الزاوية اللولبية بين السداسيات ومحور الأنبوب. يصف المتجه اللولبي (n، m) هندسة الأنابيب النانوية حيث n و m عددان صحيحان في المعادلة:$R=n\alpha_1+n\alpha_2$

تحدد قيمة n و m التباين أو الالتواء للأنبوب النانوي. بالنسبة إلى m = 0، يُطلق على الأنبوب النانوي اسم متعرج، وبالنسبة إلى m = n، يُطلق على الأنبوب النانوي اسم كرسي بذراعين، ويسمى خلاف ذلك الأنبوب النانوي. يمكن أن تكون SWNT إما معادن أو أشباه موصلات اعتمادًا على قيمة chirality. إذا كان للأنابيب النانوية شبه الموصلة نفس التناظر، فإن فجوات نطاقاتها تتناسب عكسياً مع قطرها. بشكل أساسي، تؤثر الانحناءات على التوصيل، والكثافة، والبنية الشبكية، وخصائص أخرى للأنبوب النانوي.

### 1.1.2.5.1 الخصائص الكهربائية والبصرية لأنابيب الكربون النانوية Electrical and optical properties of CNTs

يحدد اتجاه الأشكال السداسية مع محور الأنابيب النانوية الخواص الكهربائية لأنابيب الكربون النانوية. لذلك تعتمد الخواص الكهربائية لأنابيب الكربون النانوية بشكل أساسي على الخصائص الهيكلية. تحدد المعلمات الهيكلية مثل القطر والانعطاف (درجة الالتواء) الأنابيب النانوية. الموصلية الكهربائية، أي أنها تظهر السلوك المعدني أو سلوك أشباه الموصلات، وهناك ثلاث اتجاهات من الأنابيب النانوية الكربونية: كرسي بذراعين، متعرج. في الأنابيب النانوية الكربونية ذات الكراسي بذراعين، يكون اتجاه الأشكال السداسية موازيًا لمحور الأنبوب النانوي، وله نفس الخصائص الكهربائية للمعادن. يتدفق التيار في الأنابيب النانوية الكربونية ذات الكراسي بذراعين عندما يتم تطبيق الجهد عبر نهايات الأنابيب النانوية. تعتبر الأنابيب النانوية الكربونية موصلات أفضل من الأسلاك النحاسية لأنها تحمل تيارًا كهربائيًا أكبر 1000 مرة من الأسلاك النحاسية. هذه الخاصية هي السبب في أن الأنابيب النانوية الكربونية لها تطبيقات مهمة في مجالات مختلفة، فالأنواع المتعرجة واللاتينية من الأنابيب النانوية الكربونية تحمل خصائص كهربائية مماثلة لتلك الخاصة بأشباه الموصلات. في الأنابيب النانوية الكربونية المتعرجة، تتشكل الأشكال السداسية في دائرة، بينما في الأنابيب النانوية الكربونية اللولبية تكون الأشكال السداسية ملتوية ولا تشكل أي خط. في الأنابيب شبه الموصلة، تزداد فجوة الطاقة مع تناقص قطر الأنبوب النانوي، وبشكل أساسي في النوعين المتعرجين، لا تقوم الأنابيب النانوية الكربونية بتوصيل التيار إلا عندما يتم توفير الطاقة الزائدة في شكل مجال كهربائي لإلكترونات حرة من ذرات C. عندما ترتبط الجزيئات الأخرى بذرات C، تتغير المقاومة الكهربائية لـ CNTs فجأة. هذا الجانب يجعل الأنابيب النانوية الكربونية مفيدة لبناء أجهزة الاستشعار واكتشاف الأبخرة الكيميائية مثل ثاني أكسيد الكربون أو الجزيئات البيولوجية، كما أن CNT عددًا من التطبيقات في المجال البصري، لا سيما في مجالات الاتصال البصري بالأشعة

تحت الحمراء وتكنولوجيا التشخيص (على سبيل المثال، تحليل Raman الطيفي)، بسبب كونهم بواعث ضوئية نانوية. تحتوي الأنابيب النانوية الكربونية على فجوات نطاق مباشرة، مما يجعلها موثوقة لإنتاج أجهزة مختلفة. يُظهر كل نوع من أنواع CNT طبيعة متباينة من التفرد بسبب هندسة التغليف وامتلاك مجموعات مختلفة من طاقات الانتقال الإلكترونية لهذا التحسين الرنان، يمكن استخدام الأنابيب النانوية الكربونية كمطياف رامان في تقنيات التشخيص.

## 2.1.2.5.1 الخواص الميكانيكية والحرارية لأنابيب الكربون النانوية

## Mechanical and thermal properties of CNTs

في صفيحة الجرافيت، ترتبط ذرات الكربون بثلاث ذرات مجاورة أخرى عبر رابطة كيميائية تشكل شبكة اشبه بقرص العسل المستوي. بسبب هذه الروابط التساهمية القوية، يُعرف الجرافيت بأنه أقوى مادة وبالتالي فإن الأنابيب النانوية الكربونية عالية القوة للغاية الألياف. لكسر أنبوب نانوي، عليك أن تكسر الروابط، الأمر الذي يتطلب الكثير من الطاقة. الأنابيب النانوية الكربونية هي أقوى العناصر وأكثرها صلابة على المستوى النانوي. على سبيل المثال، SWCNTs أكثر صلابة من الفولاذ ومقاومة جدًا للقوى الفيزيائية. علاوة على ذلك، عندما يتم الضغط على طرف CNT، فإنه لا يتضرر، ولكنه ينحني فقط ويعود إلى حالته الأصلية عند إزالة القوة. علاوة على ذلك، فقد ثبت أن الأنابيب النانوية الكربونية هي إضافات جيدة للمواد المركبة لأنها تزيد القوة وتقلل الوزن. نظرًا لكونها قوية وخفيفة الوزن ومرنة، فإن الأنابيب النانوية الكربونية مرشحة واعدة جدًا كمجسات في الفحص المجهري وأنواع مختلفة من المعدات مثل الأعمدة ونعال الأحذية ومضارب البيسبول والدراجات. تصبح خصائص النقل الحراري مهمة جدًا عند حجم يتم تقليل الأجهزة الإلكترونية والميكانيكية إلى ميكرونات والمقياس النانوي. هذه الإدارة الحرارية في أجهزة النانو مهمة جدًا لمجموعة واسعة من تطبيقات الأنابيب النانوية الكربونية. في العمل النظري والتجريبي، أظهرت الأنابيب النانوية الكربونية موصلية حرارية عالية جدًا. تشير أعمال البحث الحديثة إلى أن الموصلية الحرارية لأنابيب الكربون النانوية تصل إلى 6600 واط / مللي كلفن في درجة حرارة الغرفة. مع ذلك، من المتوقع أن تعزيز الأنابيب النانوية لمركبات البوليمر قد يعزز الخصائص الحرارية والميكانيكية الحرارية لمركبات البوليمر. كما نعلم، عند درجة حرارة معتدلة يظهر الماس والجرافيت أعلى موصلية حرارية. ومع ذلك، لم يتم عمل الكثير فيما يتعلق باستكشاف الخصائص الحرارية لأنابيب الكربون النانوية بسبب الصعوبات التكنولوجية في إعداد أنابيب نانوية عالية الجودة ومحددة جيدًا.

### 3.1.2.5.1 أسلاك نانوية Nanowires

تسمى الجسيمات النانوية التي لها بُعد واحد غير محصور وبُعدان كموميان محدودان بالأسلاك النانوية. التوصيل الكهربائي هو الخاصية الرئيسية التي تميز الأسلاك النانوية عن نظيراتها السائبة. لديهم قيمة فجوة نطاق عالية، كثافة عالية للحالة، طاقة ربط عالية، نسبة عرض إلى ارتفاع عالية، ونسبة سطح إلى حجم كبيرة. تمتلك الأسلاك النانوية تطبيقات مثيرة للاهتمام في أجهزة الاستشعار، والوسائط المغناطيسية، والبصريات، وتقاطعات أشباه الموصلات، وتقويم التيار، والأجهزة الإلكترونية الحرارية. يتم تصنيع العديد من أجهزة أشباه الموصلات مثل الترانزستورات وثنائيات الوصلات والمفاتيح وخلايا الذاكرة وترانزستور تأثير المجال (FETs) والمحولات باستخدام تقاطعات الأسلاك النانوية. كما أنها تستخدم لتصنيع الأجهزة التي تظهر خصائص النقل. تشمل أنواع الأسلاك النانوية الأولية الأسلاك النانوية الفضية وأسلاك أكسيد الزنك النانوية وأسلاك السيليكون النانوية والأسلاك النحاسية النانوية.

### 4.1.2.5.1 قضبان النانو Nano rods

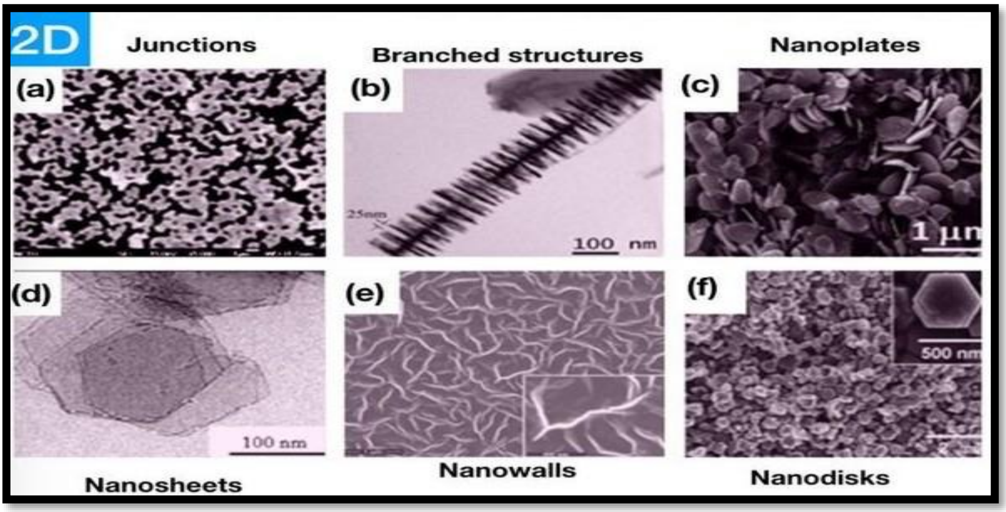
الأذرع النانوية عبارة عن مواد نانوية ثنائية الأبعاد يتم تصنيعها بواسطة مواد أو معادن شبه موصلة. إحدى الطرق الشائعة لتخليق قضبان نانوية هي الطريقة الكيميائية. في التخليق الكيميائي، تستخدم المواد الكيميائية للتحكم في الشكل لتنمية قضبان ممدودة بمعدلات مختلفة. في الاستشعار البيولوجي، تعتبر العصي النانوية الباردة مرشحة جيدة. تعتبر المواد المتناهية الصغر مثل الجسيمات النانوية المعدنية، وQDs، والفوليرينات فريدة من نوعها نظرًا لارتفاع نسبة مساحة السطح إلى الحجم، على سبيل المثال، قضبان الذهب النانوية التي يبلغ طولها عدة 100 نانومتر وعرضها في نطاق 10-40 نانومتر. تُستخدم Nanorods في التطبيقات الطبية الحيوية التي تتطلب جزيئات بيولوجية، مثل الأجسام المضادة، لتغطيتها بقضبان نانوية.

## 3.5.1 مواد متناهية الصغر ثنائية الأبعاد (2D)

## Two-Dimensional (2D) Nanomaterials

لها بعدين ليس في النطاق النانوي أي اكبر من 100 نانومتر ، على سبيل المثال ، طبقة واحدة ومتعددة الطبقات ، متبلورة أو غير متبلورة ، وأغشية رقيقة ، وألواح نانوية ، وطلاء نانوي ، والبنى غير المتجانسة ، والأقراص النانوية وصفائح النانو [31] يتم تصنيع المواد

النانوية ثنائية الأبعاد عن طريق الترسيب على الركيزة كطبقة واحدة أو هياكل متعددة الطبقات. يمكن أن تكون هذه المواد النانوية غير متبلورة أو بلورية أو معدنية أو غير معدنية، أو قد تكون بوليمرية بطبيعتها. في الآونة الأخيرة، أصبحت 1D NSMs محور التركيز الرئيسي للباحثين في مجالات مثل الطاقة الشمسية بسبب خصائصها السطحية والإلكترونية المثيرة للاهتمام.




**الشكل (15.1) صور المجهر الإلكتروني الماسح و المجهر الإلكتروني النافذ للمواد النانوية ثنائية البعد** [30]

## 1.3.5.1 طلاء النانو Nanocoating's

يشير طلاء النانو إلى طلاء طبقات رقيقة من مادة بوليمرية بمقياس نانوي (1–100 نانومتر) على سطح الركيزة. يتم استخدام أنواع مختلفة من المواد للركائز، بما في ذلك المعادن والبوليمرات والزجاج والسيراميك. تقدم الطلاءات النانوية ذات السماكة الأقل من 100 نانومتر خصائص فائقة للطلاء التقليدي. هذه الخصائص الفائقة هي الاستقرار الكيميائي والصلابة ومقاومة التآكل والمتانة والاحتكاك المنخفض، وكلها تسمح باستخدام طلاء نانوي في التطبيقات التكنولوجية المختلفة. في الهياكل النانوية، تعمل الطلاءات النانوية للمواد السائبة على تحسين الخصائص البصرية والتحفيزية والمغناطيسية والإلكترونية. تعتبر الطلاءات النانوية جذابة للاستخدام في التطبيقات الصناعية مثل أجهزة التخزين المغناطيسية وتطبيقات السيارات والآلات والأدوات عالية السرعة والأجهزة الطبية الحيوية والبصرية. يتم استخدام تقنيات مختلفة للطلاء النانوي مثل ترسيب البخار الفيزيائي، ترسيب البخار الكيميائي، التقنيات المساعدة بالبلازما، العلاج بالليزر، رش المغنطرون،

ترسيب الطبقة الذرية، وزرع الأيونات. تستخدم الجسيمات النانوية المعلقة في مصفوفة إيبوكسي للطلاء، مما يجعل الطلاء أكثر كفاءة بأربع مرات من الطلاء التقليدي الطلاءات. الأسطح المطلية بالنانو خالية من التشقق. تتمثل الأهداف الرئيسية في تطوير الطلاء النانوي في تقليل صيانة الركيزة، ومنع التآكل، وتقليل تكاليف المواد، والركائز المقاومة للماء، ومقاومة تقلبات درجات الحرارة، وتعزيز عمر الركيزة. تعتبر الطلاءات النانوية مفيدة في الغالب في حماية الأنابيب والأشياء الأخرى المدفونة في التربة أو تحت الماء من التآكل. هناك أنواع مختلفة من الطلاءات ذات البنية النانوية مثل الطلاءات البلورية النانوية والطلاء متعدد الطبقات النانوي والطلاء المركب النانوي والطلاء الشبكي الفائق. علاوة على ذلك، هناك مجموعات مختلفة من الطلاءات النانوية مثل المعدن والمعدن وزيوت التشحيم الصلبة والسيراميك والسيراميك والمعدن والسيراميك. في المقياس النانوي، تعمل هذه المواد المركبة النانوية على تحسين خصائص المواد مثل الصلابة. المواد الصلبة هي تلك ذات الصلابة التي تزيد عن GPa20، والمواد فائقة الصلابة لها صلابة> GPa40، والمواد فائقة الصلابة لديها GPa80 من الصلابة. كما هو موضح في الأدبيات، يعد الماس موصلًا صلبًا وعالي الحرارة له خصائص عزل إلكترونية. ومع ذلك، فإن لها تطبيقات محدودة بسبب تكلفتها العالية وأكسدتها عند درجات حرارة أعلى من 800 درجة مئوية. وجدت الأبحاث الحديثة أن الطلاءات النانوية للمواد فائقة الصلابة (على سبيل المثال، نيتريد البورون المكعب، وكربيد السيليكون، ونتريد الكربون البورون) والمواد شديدة الصلابة (مثل الياقوت والزركونيا) على المركبات أظهرت ثباتًا أكبر من الماس.

هناك أربع تصميمات للبنى النانوية تعزز صلابة الطلاءات المركبة النانوية:

1 .طبقات ثنائية نانوية

2 . الاعمدة النانوية

3 .حبيبات النانو محاطة بمرحلة الأنسجة

4 .حبيبات نانوية ذات توجهات بلورية مختلفة

في السنوات الأخيرة، تم تطوير عدد من نماذج NSM لتطبيقات صناعية مختلفة. على سبيل المثال، تتكون الطلاءات النانوية التي يبلغ سمكها حوالي 30 نانومتر من البوليمرات القائمة على الكبريت وتستخدم الكربوهيدرات في جعل الأثاث غير قابل للاشتعال. تستخدم الطلاءات القائمة على السيليكا ذات البنية النانوية لتقليل الانعكاس وزيادة النفاذية. لقد لوحظ أن الانتقال يزداد بنسبة 10٪ مع الشرائح الزجاجية المطلية أكثر من الشرائح الزجاجية غير

المطلية. يُعرف هذا النوع من الطلاء أيضًا باسم الطلاء المضاد للانعكاس. عندما يدخل الضوء الساقط من وسط نادر إلى وسط أكثر كثافة، فإنه ينحني نحو الوضع الطبيعي، مما يدل على أن زاوية الانكسار أقل من زاوية السقوط. هذا يدل على أن هناك انعكاس أقل وانتقال أكبر من السطح. يعتبر معامل الانكسار للطلاء من أهم الأشياء التي يجب مراعاتها عند تصميم الأجهزة الضوئية مثل الخلايا الشمسية، ويمكن استخدام الطلاء الخزفي من الألومينا ومساحيق التيتانيا ذات البنية النانوية ضد مقاومة التآكل الكاشطة وتعزيز المساحيق بنسبة 400٪. يتم تغيير وإعادة تشكيل المساحيق ذات البنية النانوية إلى حبيبات كروية عن طريق التجفيف بالرش. أظهرت الطلاءات المصنوعة من كربيد الألومينا سرعة أعلى بنسبة 250٪ من الأدوات غير المطلية.

## 2.3.5.1 أفلام رقيقة وأفلام النانو Thin Films and Nano Films

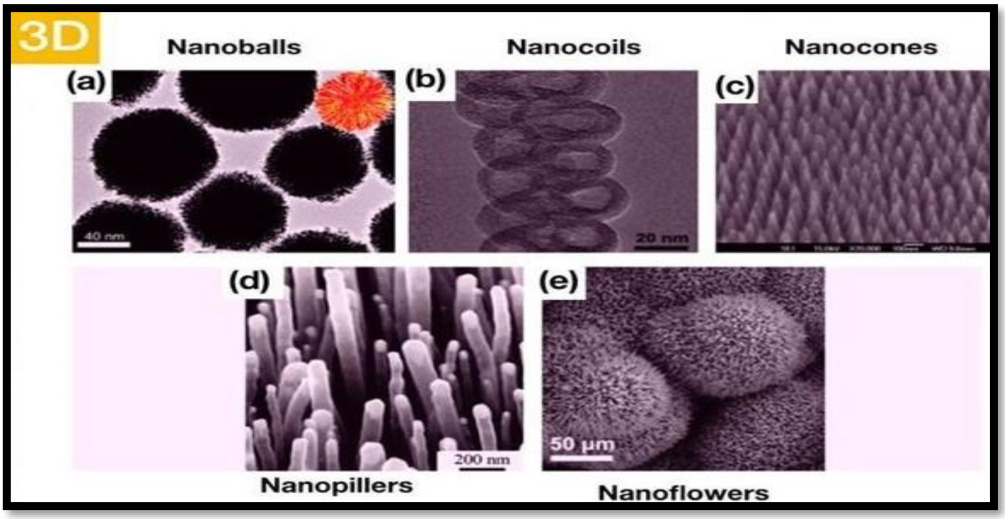
الأغشية الرقيقة هي فئة من 2D NSMs تعرف بأنها ذات سماكة طبقة مادية في نطاق كسور النانومتر إلى عدة ميكرومتر. تتكون هذه الأغشية الرقيقة من طبقات مترسبة على السطح، والتي يتم الحصول عليها عن طريق تغيير أربع حالات للمادة مثل البخار، والصلب، والسائل، والبلازما. يتضمن تكثيف الذرات والجزيئات والأيونات. تحتوي الأغشية الرقيقة على أبعاد فيزيائية مختلفة، وعلم المعادن، والهندسة مقارنة بالمواد السائبة. يتم تحقيق هذه الأغشية الرقيقة عن طريق ترسب المادة، والتي يمكن ترسيبها ذرة بواسطة ذرة، أو جزيء بجزيء، أو طبقة بطبقة. تحتل هذه الأيونات والذرات والجزيئات تلك المساحة حيث تكون الطاقة الكامنة في حدها الأدنى على الركيزة. ستحتفظ الذرات القادمة بمواقعها وفقًا لتوافق الطاقة مع الركيزة أو الطبقة المترسبة سابقًا. في الفوهة الأولى للترسيب، لا يتم تغطية سطح الركيزة بالكامل بشكل متجانس بالذرات المؤثرة. في المرحلة الأولية، تغطي الذرات مواقع معينة فقط في شكل عناقيد أو نوى. في وقت لاحق، يتم ملء الفراغات المكشوفة بواسطة ذرات اصطدام أحدث، وبهذه الطريقة، يتم تقليل الفجوات بين النوى أو المجموعات الأقدم والأحدث بشكل تدريجي. نتيجة لذلك، يتم ترسيب غشاء رقيق بسمك معين على سطح الركيزة بطريقة مستمرة. رياضيًا، يوصف تعريف الغشاء الرقيق المثالي بأنه المادة الصلبة التي تنتشر في اتجاهين، xو y ، ومحدودة في اتجاه ثالث ، z . يتم تعريف اتجاه z على أنه سمكه (t) ، والذي قد يبدأ من $t \rightarrow 0$ إلى أي قيمة عشوائية ، على سبيل المثال ، 20 ميكرومتر. يذكر أن السُمك يكون دائمًا أقل من اتجاهي x و y الآخرين. العوامل الرئيسية التي تغير الخصائص الفيزيائية والبصرية والميكانيكية والكهربائية للأغشية الرقيقة أثناء التكوين هي درجة حرارة الركيزة، ومعدل الترسيب،

ونقاء المادة المراد تشكيلها. المترسبة، وزاوية حدوث الجسيمات المتصادمة ، والظروف البيئية ، وطاقة الجسيمات المترسبة.[32]

### 4.5.1 المواد النانوية ثلاثية الأبعاد (3D)

### Three-Dimensional (3D) Nanomaterials

هي المواد التي تكون جميع أبعادها أكبر من 100 نانومتر. هذه المواد تمتلك إما تركيب بلوري نانوي (بلورات نانوية الحجم) أو بعض خصائص نطاق النانو الناتجة عن احتوائها على مواد أخرى صفرية أو أحادية أو ثنائية الأبعاد. ومن الأمثلة على ذلك الألياف والبراعم الكربونية والأنابيب النانوية والفو ليرين والأعمدة والبلورات المتعددة [33].




**الشكل (16.1) صور المجهر الإلكتروني الماسح و المجهر الإلكتروني النافذ للمواد النانوية ثلاثية البعد.**[30]

نظرًا لمساحة السطح الكبيرة المحددة والخصائص المتفوقة الأخرى على نظيراتها السائبة ناشئة عن تأثير الحجم الكمي، اجتذبت نماذج 3D NSM اهتمامًا بحثيًا كبيرًا وتم تصنيع العديد من نماذج NSM ثلاثية الأبعاد في السنوات العشر الماضية. من المعروف جيدًا أن سلوكيات NSM تعتمد بشدة على الأحجام والأشكال والأبعاد والتشكيلات، والتي تعد بالتالي العوامل الرئيسية

لأدائها وتطبيقاتها النهائية. لذلك من الأهمية بمكان توليف نماذج ثلاثية الأبعاد من NSM بهيكل ومورفولوجيا متحكم فيهما. بالإضافة إلى ذلك، تعتبر الهياكل النانوية ثلاثية الأبعاد مادة مهمة نظرًا لتطبيقاتها الواسعة في مجال التحفيز، والمواد المغناطيسية، ومواد الإلكترون للبطاريات. علاوة على ذلك، جذبت نماذج NSM ثلاثية الأبعاد مؤخرًا اهتمامات بحثية مكثفة لأن الهياكل النانوية لها مساحة سطح أعلى وتوفر مواقع امتصاص كافية لجميع الجزيئات المتورطة في مساحة صغيرة. من ناحية أخرى، فإن مثل هذه المواد ذات المسامية في ثلاثة أبعاد يمكن أن تؤدي إلى نقل أفضل للجزيئات.

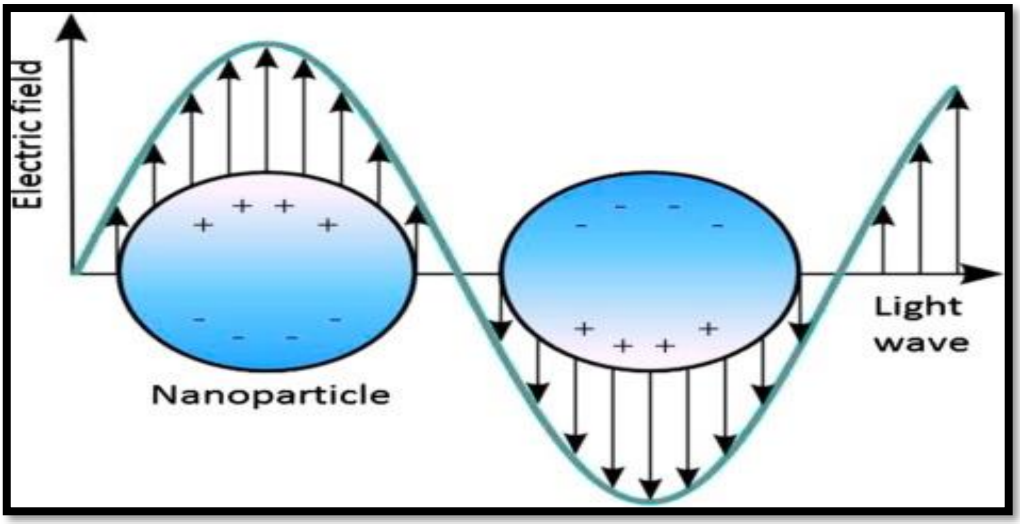
## 6.1 خواص المواد النانوية Properties of Nanomaterials

تمت دراسة الخواص المعتمدة على الحجم والمتعلقة بالجسيمات النانوية والمواد النانوية على نطاق واسع ولكن لا يزال يتعين توضيح الخصائص التحفيزية المعتمدة على الشكل بطريقة أكثر شمولاً. بشكل عام تزداد تفاعلية الجسيمات النانوية وتتغير بسبب التناقص في حجمها، كما أن نقطة انصهار الأطوار النانوية المعنية تصبح أقل بشكل ملحوظ مقارنة بنظيراتها الكبيرة، كما أن لونها يخضع لتغيير بسبب تناقص حجمها. يقيد الحجم المحدد للجسيم التوزيع البعدي للإلكترونات، مما يؤدي إلى تكوين مستويات طاقة كمية بسبب تأثير الحجم. هذا التأثير للحبس الكمومي له تطبيقات عدة في حالة البصريات غير الخطية وأشباه الموصلات والإلكترونيات الضوئية. تُظهر هذه الجسيمات النانوية بعض الظواهر الفريدة التي تمت مناقشتها بإيجاز أدناه[34] .

### 1.6.1 الخصائص البصرية Optical properties

اكتسب المختصون في الكيمياء الضوئية معرفة جيدة بهذه التقنية للكشف عن آلية عملياتهم الكيميائية الضوئية. تستند هذه التوصيفات إلى قانون بير لامبرت الشهير ومبادئ الإضاءة الأساسي. [35]عندما يتم تقليل حجم المادة إلى حجم النانو ، تتغير الخاصية البصرية للمادة بطريقتين مختلفتين: الأولى هي الحبس الكمي والثانية هي (رنين البلازمون السطحي) . إذا تم تقليل حجم المادة إلى ما دون الطول الموجي de-Broglie، يحدث الحبس الكمي للشحنات، وتبدو مستويات الطاقة منفصلة. يوضح الشكل (17.1) أدناه كيف تصبح مستويات الطاقة أكثر تميزًا عندما يتم تقليل المواد الكتلية إلى ثنائية الأبعاد ثم إلى أحادية البعد وأخيراً إلى أبعاد صفرية (أي النقاط الكمومية). يجعل حصر مستويات الطاقة مظهر المادة مختلفًا لأنه يؤدي إلى تغيير لون المادة. أقل من 10 نانومتر من الحجم، يصبح التباعد

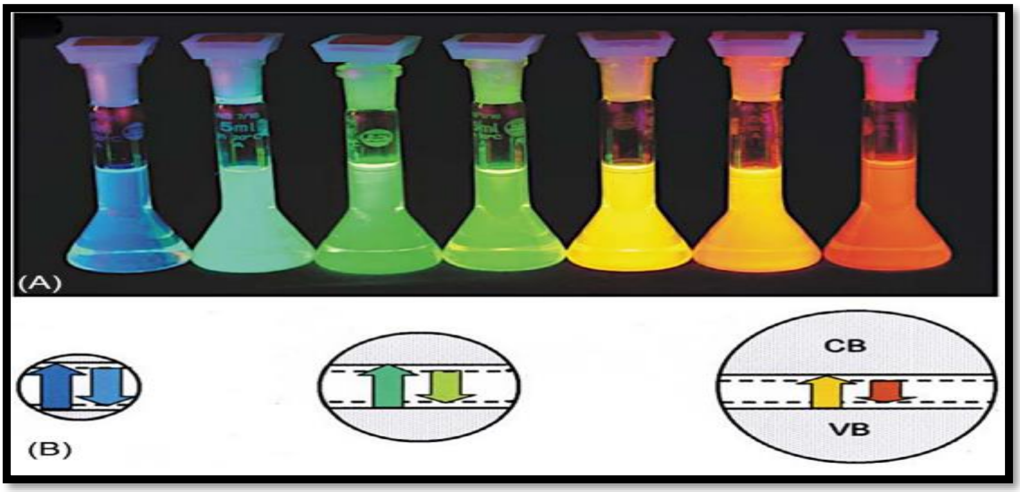
بين مستويات الطاقة بارزًا جدًا بحيث يمكن رؤية التغيير الحاد في لون النقطة الكمومية مع 2e 10 نانومتر. لذلك ، يمكن تصنيع مادة نانوية لخاصية معينة لتطبيق محدد عن طريق اختيار طريقة التركيب الصحيحة.[36]



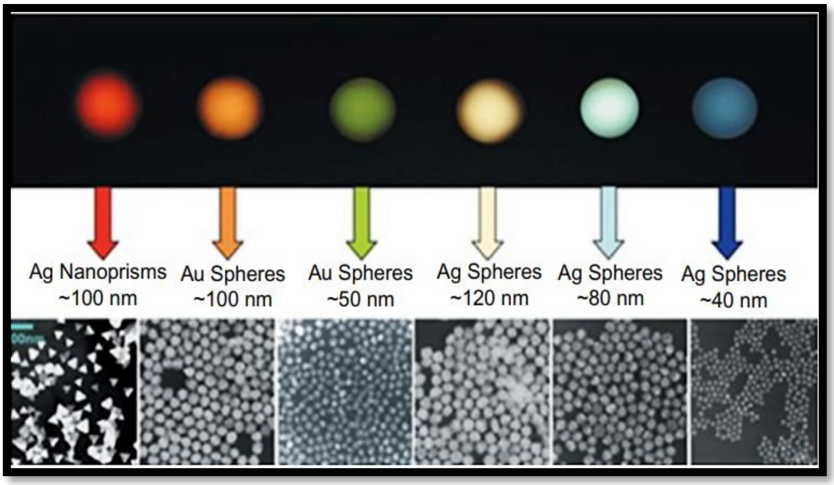

**الشكل (17.1) رسم تخطيطي لتفاعل الشعاع الكهرومغناطيسي مع قضبان نانوية ومجال نانوي.**
[35]

تعتمد الخصائص البصرية مثل الانعكاس، والنقل، والامتصاص، وانبعاث الضوء للمواد النانوية اعتمادًا كليًا على بنيتها الإلكترونية التي تختلف اختلافًا كبيرًا في الأشكال المختلفة نظرًا لأن البنية الإلكترونية للمواد النانوية تعتمد إلى حد كبير على ذرات السطح. هناك عاملان، وهما زيادة تباعد مستوى الطاقة (التأثير الكمي) ورنين البلازمون السطحي، يساهمان بشكل كبير في الخصائص البصرية المعتمدة على الحجم للمواد النانوية. يتم ملاحظة تأثيرات الحجم على الخصائص البصرية عندما يتم تقليل حجم الجسيمات إلى 10 نانومتر. على المستوى النانوي، تكون الجسيمات النانوية صغيرة جدًا بحيث لا تكون الإلكترونات الموجودة فيها حرة الحركة كما في حالة المواد السائبة. بسبب هذا الحصر الكمي للإلكترونات، تتفاعل الجسيمات النانوية بشكل مختلف مع الضوء مقارنةً بالمادة السائبة. الأبعاد المخفّضة في التركيب الإلكتروني للمواد النانوية لها التأثير الأكثر أهمية على طاقات المدار الجزيئي الأعلى المشغول، وهو نطاق التكافؤ، والمدار الجزيئي الأدنى غير المشغول، وهو في الأساس نطاق التوصيل. تحدث الخصائص البصرية مثل الانبعاث والامتصاص عندما يحدث انتقال الإلكترون بين هذين النطاقين. تزداد فجوة الحزمة الضوئية مع انخفاض حجم الجسيمات، خاصة بالنسبة للمواد النانوية شبه الموصلة. عندما

ينخفض إلكترون من حالة طاقة أعلى إلى حالة طاقة أقل، فإن كمًا من الضوء (فوتون) بطول موجة λ¼hc /ΔE سينبعث حيث h ، c، ΔEهي ثابت بلانك ، وسرعة الضوء ، وفرق الطاقة بين مستويات طاقة الإلكترون المسموح بها ، على التوالي. كلما زاد حجم ΔEكلما كان الطول الموجي أقصر (إزاحة اللون الأزرق). وهكذا تمتص المواد النانوية شبه الموصلة وتنبعث منها الضوء عند أطوال موجية معينة تعتمد بشدة على كل من حجم وشكل الجسيمات بسبب تأثيرات الحبس الكمومي. من خلال تغيير حجم وتكوين المواد النانوية، يمكن ضبط أطوال موجات انبعاثها من الأشعة فوق البنفسجية عبر المنطقة المرئية إلى مناطق الأشعة تحت الحمراء القريبة من الطيف. على سبيل المثال، من خلال ضبط حجم الجسيمات النانوية القشرة CdSe-CdS الغروية التي يتراوح قطرها من 2 إلى 6 نانومتر، يمكن إزاحة الطول الموجي للانبعاث عبر الطيف المرئي، حيث تنبعث الجسيمات الأصغر باللون الأزرق وتنبعث الجسيمات الأكبر حجمًا من الضوء الأحمر كما في (الشكل 18.1) عندما يصبح حجم الجسيم أقل من الطول الموجي للإشعاع الساقط، تصبح ظاهرة رنين البلازمون السطحية مهيمنة للتحكم في الخصائص البصرية للمواد النانوية. رنين البلازمون السطحي هو نتائج الإثارة المتماسكة للإلكترونات الحرة للمواد النانوية، الموجودة في نطاق التوصيل وتذبذبات الرنين في الطور مع الطاقة الضوئية المطبقة. وبالتالي يمكن أن تنتج المواد النانوية رنينًا للطعام السطحي، على عكس المواد السائبة. تتناسب شدة رنين المأكل بالسطح بشكل مباشر مع عدد هذه الإلكترونات المثارة وثابت العزل الكهربائي للوسط المستخدم. يمكن للمعادن مثل الذهب والفضة والألمنيوم أن تدعم أنماط الطحين السطحي حيث يتردد صدى الإلكترونات الحرة في المادة بشكل طبيعي بتردد يعتمد على تكوين الجسيمات وحجمها وشكلها. كما هو مبين في الشكل (19.1)، تنتج جزيئات الذهب أو الفضة النانوية ألوانًا مختلفة لأحجام وأشكال مختلفة.




**الشكل (18.1) (أ) الجسيمات النانوية ذات القشرة الأساسية CdSeCdS بقطر 1.7 نانومتر (أزرق) حتى 6 نانومتر (أحمر)، مما يدل على تحجيم فجوة النطاق لأشباه الموصلات مع حجم الجسيمات. (ب) تمثيل تخطيطي لتأثير الحجم على الفجوة بين نطاق التكافؤ (VB)، وفرقة التوصيل (CB)، والامتصاص (السهم لأعلى) والفلورة (السهم لأسفل). الجسيمات الأصغر لها فجوة نطاق أوسع**[37]




**الشكل (19.1) الخصائص البصرية للذهب الغرواني أو جزيئات الفضة النانوية**

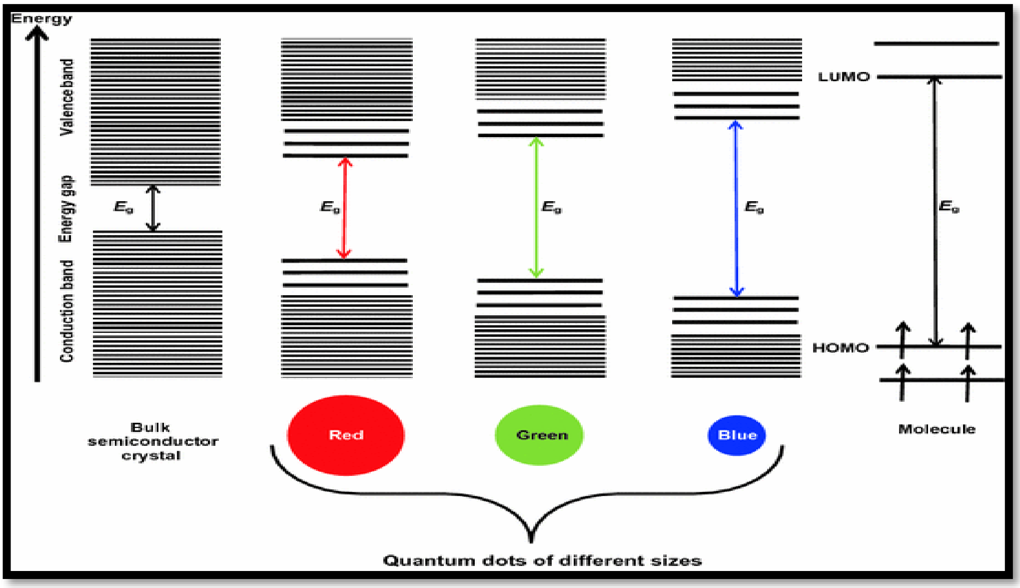
تمتلك أشباه الموصلات والمواد النانوية المعدنية والمركبات النانوية امتصاصًا خطيًا مثيرًا للاهتمام، وانبعاث التلألؤ الضوئي، وخصائص بصرية غير خطية. تُظهر المواد النانوية ذات الأحجام الصغيرة للجسيمات انبعاثًا بصريًا معززًا بالإضافة إلى خصائص بصرية غير خطية بسبب تأثير الحبس الكمومي. كما لفت التوليف والتوصيف والقياس للخصائص

البصرية للمواد النانوية ذات الأشكال المختلفة الخواص اهتمامًا كبيرًا. في الآونة الأخيرة، تم إعطاء الكثير من التركيز البحثي على تحضير أشباه الموصلات البوليمرية وغيرها من المواد المركبة النانوية التي لها تطبيقات محتملة في مختلف الإلكترونيات الضوئية وأجهزة الضوئيات، تشمل الموضوعات تقنيات التوليف والتوصيف والخصائص الضوئية للمواد النانوية شبه الموصلة، والمركبات النانوية للبوليمرات شبه الموصلية والجسيمات النانوية المعدنية الجرافين، والخصائص البلازمية للجسيمات النانوية المعدنية والبنى النانوية. استعرضت التطورات الحديثة والمزايا والقيود المفروضة على أجهزة الاستشعار البصرية القائمة على السيليكا المسامية للكشف عن المعادن الثقيلة. في الورقة البحثية التي تحمل عنوان "توصيف الخصائص البصرية لجسيمات نانوية هجينة من الجرافين-X ( X=Ag , Au ,Cu) " أبلغ المؤلفون عن نتائجهم حول التحقيق في التوليف ، والتوصيفات الهيكلية النانوية ، والخصائص البصرية ، بما في ذلك تعديلات رنين البلازمون السطحي (SPR) ومركبات الجرافين المعدنية النانوية مع دمج الجسيمات النانوية في صفائح الجرافين النانوية. أبلغوا عن تقنية تخليق سهلة من وعاء واحد لإعداد بلورات نانوية ثلاثية من $Zn_xCd_{1-x}Se$ والتي تُظهر انبعاث ضوئي مضيء قابل للضبط في منطقة الطول الموجي الأخضر التي لها عائد كمي من 45-89٪. و أيضا أبلغ عن تخليق الهياكل النانوية ZnO مع أشكال مختلفة، مثل nanopyramids ، و nanosheets ، و nanoparticles بواسطة طريقة solvothermal: تأثير المعالجة المسبقة للمحلول." لقد استخدموا مطياف رامان والتلألؤ الضوئي لفحص التبلور والخصائص البصرية للعينات. الخصائص البصرية والدراسات البيولوجية في المختبر للنقاط الكمومية المعدلة قليل النوكليوتيد أبلغ عن توليف وتوصيف سلسلة من النقاط الكمومية الجديدة المعدلة قليلة النوكليوتيد (QDs) تمكن مراجعة للتطورات الأخيرة في تحسين خصائص اللمعان للجسيمات النانوية المخدرة بناءً على بنية الغلاف الأساسي. جذبت معالجة المياه باستخدام المحفزات الضوئية وأشباه الموصلات غير المتجانسة الانتباه في الآونة الأخيرة. نلاحظ تقدم البحث في تقنيات التوليف والتوصيف والخصائص البصرية للمواد ذات البنية النانوية. كما يحدونا أمل كبير في أن يقدم هذا العدد الخاص الأفكار للمبتدئين وسيكون مفيدًا للباحثين المحتملين لبدء العمل البحثي في مجال تطوير الجسيمات النانوية والمواد المركبة النانوية المطلوبة للأجهزة الإلكترونية الضوئية المستقبلية.[38]

## 2.6.1 الخاصية الالكترونية Electronic property

تمتلك المواد النانوية خصائص إلكترونية تعتمد بشكل كبير على حجمها وبنيتها. هذا من ناحية يجعل المواد النانوية لجزيئات البناء للتجميع من الأسفل إلى الأعلى للأجهزة الإلكترونية النانوية بسبب الخصائص القابلة للضبط [39]، تستخدم الخصائص الإلكترونية ، مثل: طاقة مجال HOMO-LUMO ، وحرارة التكوين ، والطاقة الإجمالية يتم تطبيقها حاليًا في كثير من الأحيان على المواد النانوية [40] نظرًا لوجود علاقة بين الحجم والخاصية على الأقل بالنسبة لبعض الخصائص ، يُطرح السؤال عما إذا كانت هناك إمكانية لوصف هذه العلاقة عن طريق طرق القياس الكيميائي. ومن ثم، بافتراض أنه ستكون هناك إمكانية لتطوير نموذج العلاقات الخطية بتطبيق النتائج المحسوبة لسلسلة من المجموعات الجزيئية الصغيرة، يمكن للمرء عن طريق هذه النماذج تقدير خاصية جسيم نانوي أكبر حجمًا [41] . تعتبر الخصائص مثل الموصلية أو المقاومة تحت فئة الخواص الكهربائية على غرار الخصائص البصرية أو المغناطيسية، لوحظ أن هذه الخصائص تتغير أيضًا على مستوى المقياس النانوي. تتعلق الخواص الكهربائية للمواد النانوية بشكل أساسي بتنقل حاملات الشحنة. عندما يتم تقليل أبعاد المادة إلى نطاق نانومتر، لا بد أن يحدث تأثير الحجم الكمي وتأثير الحبس الكمي. بسبب تكميم طاقة الإلكترون، يمكن تحويل بعض الجسيمات النانوية المعدنية الموصلة إلى مادة غير موصلة تحت جهد معين. على سبيل المثال، يمكن أن تفقد المعادن المستخدمة كموصلات مثل النحاس قدرتها على التوصيل إذا تم تقليل حجمها إلى بضعة نانومتر، في حين أن المواد العازلة مثل ثاني أكسيد السيليكون تحت تصغير الحجم ستفقد خصائصها العازلة وتصبح موصلة. زيادة الذرات أو الأيونات البينية، وإغراق كمية كبيرة من العيوب بالقرب من حدود الحبيبات، وحجم الحبيبات، والشوائب المنشطة تتحكم بشكل كبير في الخواص العازلة والمقاومة والنقل الكهربائي للمواد النانوية. تكون الموصلية الكهربائية للمواد النانوية أقل عمومًا من المواد الاولية بسبب زيادة طاقة فجوة النطاق مع انخفاض حجم الجسيمات في المواد النانوية، خاصة بالنسبة للمواد النانوية شبه الموصلة. فمثلا، نظرًا لأن نطاقات الطاقة تتوقف عن التداخل في نطاق 2-3 نانومتر، على الرغم من كونها معدنية، تتوقف جزيئات الذهب النانوية عن أن تكون موصلة وتتحول إلى عوازل. تمثل فجوة النطاق نطاقًا للطاقة في مادة صلبة، حيث لا يُسمح بحالات الإلكترون. لذا فإن وجود ملف مباشر تعني فجوة النطاق أن الحد الأدنى (أدنى حالة طاقة) لنطاق التوصيل يقع مباشرة فوق الحد الأقصى (أعلى حالة طاقة) لنطاق التكافؤ في مساحة الزخم. فجوة النطاق الكهربائية تعني الفرق بين الجزء العلوي من نطاق التكافؤ (HOMO - أعلى مداري جزيئي مشغول (وقاع نطاق التوصيل (LUMO - أدنى مدار جزيئي غير مشغول

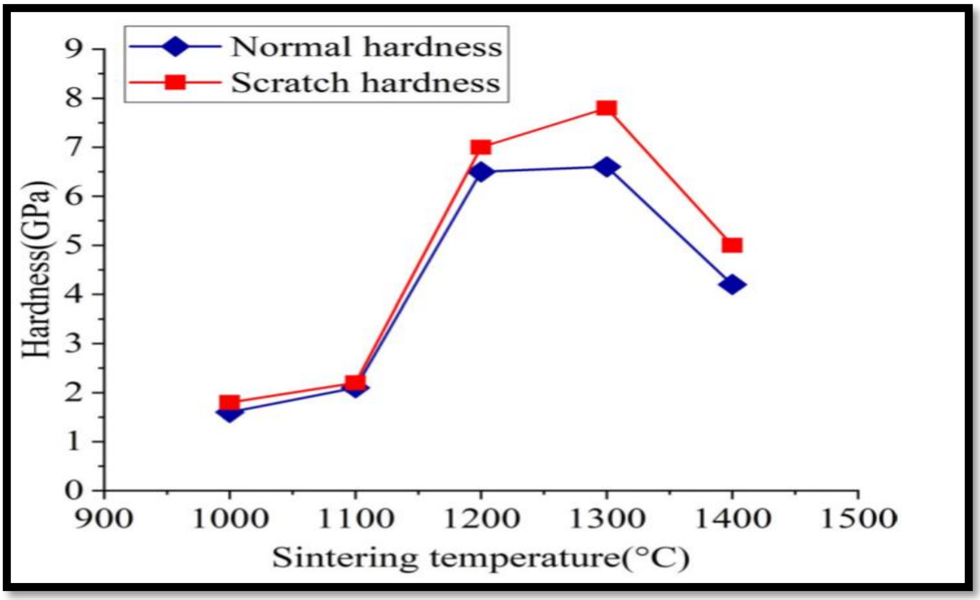
يتم التحكم في التوصيل الكهربائي بشكل أساسي من خلال هذا التباعد بين مستويات الطاقة المجاورة. يعتمد التركيب الإلكتروني للجسيمات النانوية بشكل حاسم على حجم الجسيمات. مع تقليل الحجم في الكتلة النانوية المنفصلة التي تتألف من عدد قليل جدًا من الذرات، يتناقص عدد حالات الطاقة، وبالتالي يؤدي التباعد المتزايد بين مستويات الطاقة المجاورة إلى حدوث تحول في الخصائص الموصلة للعنقود النانوي، من المعدن إلى أشباه الموصلات والعزل. يوضح الشكل 15.10 تحول الخواص الموصلة من المعدن إلى أشباه الموصلات / العازلة في العناقيد النانوية المنفصلة. هذه الحقيقة صالحة فقط للمواد النانوية 0D ، بينما بالنسبة للمواد النانوية 1D أو 2D ، مثل الأسلاك النانوية أو الأنابيب النانوية ، قد تزيد الموصلية الكهربائية بالنسبة إلى نسبة العرض إلى الارتفاع والترتيب في بنية المواد النانوية. ترقق ميكانيكي أو تقليل قطر الأسلاك النانوية بشكل ثابت الجهد المطبق أصبح عدد أنماط موجة الإلكترون المساهمة في التوصيل الكهربائي أصغر بشكل متزايد من خلال خطوات كمية محددة جيدًا. عندما يقل قطر الأسلاك النانوية عن 20 نانومتر، بسبب زيادة تشتت السطح للإلكترونات والفونونات ، وزيادة مساحات السطح ، والكثافة العالية جدًا للحالات الإلكترونية ، تزداد موصلية الأسلاك النانوية بشكل مفاجئ مقارنة بالمواد السائبة. تُظهر الأنابيب النانوية الكربونية أيضًا نطاقًا واسعًا من السلوك الكهربائي بدءًا من العزل وأشباه الموصلات والمعدنية إلى الموصلية الفائقة اعتمادًا على تركيبها الكيميائي وهيكلها البلوري وحجمها. باختصار، سيؤدي تقليل أبعاد المواد إلى زيادة الكمال البلوري أو تقليل العيوب، مما يؤدي إلى تقليل تشتت الخلل، وبالتالي تقليل المقاومة والتوصيل. في هذا الفصل، قدمنا نظرة عامة تفصيلية على المواد النانوية وأنواعها وخصائصها الفيزيوكيميائية. نظرًا لحجم النانومتر، تقدم المواد النانوية مجموعة واسعة من الخصائص الجديدة اعتمادًا على الحجم والشكل والتركيبات الكيميائية. تشكل هذه الخصائص المعتمدة على الحجم أساس علم النانو، حيث يتم استغلال الخصائص للتطبيقات الممكنة. على الرغم من أن المواد النانوية مفيدة للعديد من التطبيقات، إلا أنه لا تزال هناك بعض المخاوف المتعلقة بالمخاطر الصحية بسبب استخدامها غير الخاضع للسيطرة وتفريغها في البيئة الطبيعية، والتي يجب أخذها في الاعتبار للاستفادة منها بطريقة أكثر ملاءمة وصديقة للبيئة




**الشكل (20.1) تجزئة مستوى الطاقة واتساع فجوة النطاق مع تناقص حجم بلورة أشباه الموصلات بسبب الحصر الكمي** [42]

## 3.6.1 الخواص الميكانيكية Mechanical properties

تتكون الخصائص الميكانيكية للمعادن عمومًا من عشرة أجزاء، وهي الهشاشة والقوة واللدونة والصلابة والمتانة وقوة التحمل والمرونة والليونة والصلادة وإجهاد الخضوع. معظم المواد غير العضوية وغير المعدنية عبارة عن مواد هشة، ليس لها خصائص مثل اللدونة والمتانة والمرونة والليونة، فإن بعض المواد العضوية عبارة عن مواد مرنة ليس لها خصائص مثل الهشاشة والصلابة. تتمتع المواد النانوية بخصائص ميكانيكية ممتازة نظرًا للحجم والتأثيرات السطحية والكمية للجسيمات النانوية. عند إضافة الجسيمات النانوية إلى مادة شائعة ، ستعمل هذه الجسيمات على تنقية الحبيبات إلى حد معين ، وتشكيل بنية داخل الحبيبات أو بنية بين الحبيبات ، وبالتالي تحسين حدود الحجم الحبيبي وتعزيز الخواص الميكانيكية للمواد [43] وجد أن زيادة درجة حرارة التصليد من 1000 درجة مئوية إلى 1300 درجة مئوية يمكن أن يحسن صلابة نانو hydroxyapatite (nano-HA) ، ولكن الزيادة الإضافية ستقلل من صلابته كما في الشكل (21.1). بالنظر إلى أن المواد النانوية لها خصائص ميكانيكية ممتازة وخصائص فريدة ، فإن لها تطبيقات واسعة في المستقبل. ومع ذلك، يجب إجراء مزيد من البحث على المواد النانوية. نحتاج إلى تحديد الخواص الميكانيكية للمواد النانوية المختلفة لتحديد التطبيقات الهندسية والإنتاج الصناعي المحتمل




**شكل (21.1) قانون الاختلاف للصلابة العادية وصلابة الخدش مع زيادة درجة حرارة التصليد**[44] .

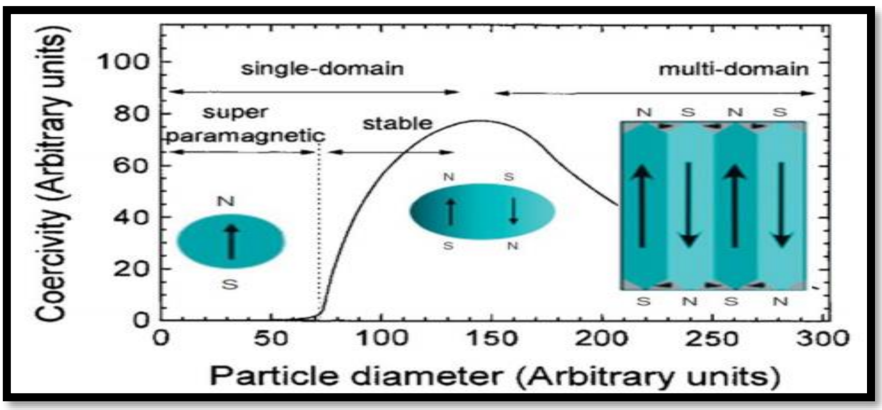
أدت تحسينات الخصائص الميكانيكية إلى اهتمامات رئيسية في المركبات النانوية. تعتمد الخواص الميكانيكية للمواد التي تمت تقويتها بالألياف على الرابطة بين الألياف والمصفوفة وجودة الألياف. يمكن تحسين ترابط مصفوفة الألياف عن طريق زيادة مساحة سطح التلامس بين المصفوفة والألياف. يجب إجراء التحسين على المركبات النانوية التي هي نتاج التقنيات المبتكرة ذات الإمكانات الكبيرة لإنشاء مواد جديدة متعددة الوظائف، تتميز بخصائص فيزيائية وميكانيكية محسنة ومنتجات محسنة جديدة لمختلف مجالات التطبيقات. عوامل مثل النوع، وتوزيع الحجم، وحالة التكتل / التشتت، والترسب الكيميائي، والبنية البلورية، ومساحة السطح، وكيمياء السطح، وشحنة السطح، والشكل / التشكل، والذوبان / الذوبانية، والخصائص الفيزيائية / الكيميائية للجسيمات النانوية تؤثر على خاصية خصائص المواد المركبة. قد يتسبب التكتل، الذي ينتج عن سوء تشتت المواد النانوية، في عدم التجانس، وفي النهاية، مناطق راتنج غير مؤمن مع فرض طاقة إضافية في عملية الخلط. قد تؤدي عملية الخلط لتحقيق تشتت جيد تحت الصوتنة (جهاز الاترو سونك) أيضًا إلى المعالجة المبكرة للراتنج ، مما يؤدي إلى هشاشة المركب الناتج. وبالتالي بإضافة الكمية المثلى من المواد النانوية، يمكن تحسين الخصائص الميكانيكية مثل مقاومة الشد وقوة الانحناء ومعامل المرونة والخصائص الفيزيائية مثل الثبات الحراري وخصائص الحاجز بشكل ملحوظ لنوع البلاستيك المقوى بالألياف للمواد المركبة. قد تصل الخواص الميكانيكية للمواد النانوية إلى القوة النظرية، والتي تكون أعلى بمقدار مرة أو مرتين من البلورات

المفردة في الشكل الكتلي. يرجع التحسن في القوة الميكانيكية ببساطة إلى انخفاض احتمالية حدوث عيوب في المواد النانوية وقدرة أجزاء التئام من المواد السائبة والألياف. وهكذا، في الموضوعات الفرعية التالية، تتم مراجعة تأثيرات أنواع مختلفة من المواد النانوية (إلى حد كبير نانو الطين) على الخواص الميكانيكية للمواد المركبة.[45]

## 4.6.1 الخواص المغناطيسية

## Magnetic Properties of Nanomaterials

تتميز المواد المغناطيسية مثل Fe، Co ، Ni، $Fe_3O_4$، عندما تحضر بطريقة ما بحيث تكون أحجام جسيماتها على المقياس النانو متري الأقل من 100 nm ، بامتلاكها سلوكا فريدا مختلفا عن سلوك المواد نفسها في الحالة الطبيعية الكبيرة ، فحتى الخواص المغناطيسية الذاتية مثل التمغنط و خاصية الاتجاهية anisotropy تتغير نتيجة الحصر الكمي لإلكترونات الجسيمات الصغيرة جدا أي تنحصر بعض المواد في بعدين مما يؤدي إلى حركة الإلكترونات في اتجاه واحد وتنحصر بعض المواد في بُعد واحد ، تكون الحركة في اتجاهين ، و كذلك نتيجة لتأثيرات السطح ، إذ حيث تزداد نسبة مساحة السطح مقارنة بالحجم مسببة تكسر الروابط و تغير التماثل التركيبي ، و زيادة الالكترونات على السطح مما يسبب تغير الخواص المغناطيسية وبروز ظواهر جديدة مثل البارا مغناطيسية الفائقة superparamagnetic [46]، تم استخدام الجسيمات النانوية المغناطيسية المغلفة على نطاق واسع في العديد من التطبيقات الطبية ، مثل عزل الخلايا والتخزين الالكتروني والاختبارات التشخيصية وتوصيل الأدوية. [47]، وتبين الخصائص المغناطيسية للجسيمات النانوية كما في الشكل (22.1)




**الشكل (22.1) الخصائص المغناطيسية للجسيمات النانوية** [48,49]

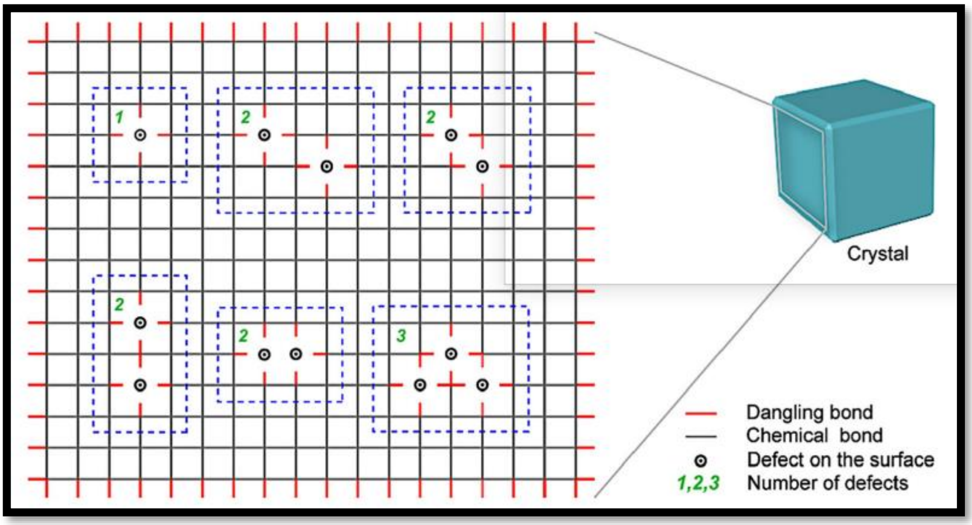
بالمقارنة مع المواد السائبة، تُظهر المواد النانوية مجموعة متنوعة من السلوك المغناطيسي غير المعتاد بسبب تأثيرات السطح أو الواجهة، بما في ذلك كسر التناظر، أو البيئة الإلكترونية، أو نقل الشحنة والتفاعل المغناطيسي. علاوة على ذلك، بسبب النسبة الكبيرة من حجم السطح الخارجي للهياكل النانوية، تختبر الذرات المكونة اقترانًا مغناطيسيًا مختلفًا مع الذرات المجاورة مقارنة بالمواد السائبة. تعتمد مغناطيسية الجسيمات الدقيقة أيضًا على بنية المجال المغناطيسي للمواد المغناطيسية. يشار إلى الجسيمات المغناطيسية الحديدية الأصغر من الحجم الحرج على أنها جسيمات ذات مجال واحد تظهر مغناطيسية موحدة بينما تمتلك الجسيمات الأكبر ذات المجالات المتعددة مغناطيسية غير منتظمة. يتأثر الحجم الحرج للمجال الفردي بعدة عوامل مثل قيمة التشبع المغناطيسي، وقوة التباين البلوري وقوى التبادل، والطاقة السطحية أو جدار المجال، وشكل الجسيمات. يتسم تفاعل المواد المغناطيسية الحديدية في حقل مطبق بعاملين رئيسيين: الباقي والإكراه. من بينها، قسر المواد المغناطيسية اعتماد مذهل على حجم الجسيمات. عندما يتم تقليل حجم الجسيمات، يزداد الإكراه إلى الحد الأقصى في حجم المجال الفردي ثم يتناقص بالنسبة للجسيمات الصغيرة جدًا بسبب التأثيرات الحرارية ويصبح صفرًا عند حجم الجسيمات فائقة المغناطيسية (الشكل 21.1). وبالتالي قد تصبح المواد النانوية مغناطيسية فائقة، على الرغم من أن المواد السائبة المقابلة لها ليست مغناطيسية. على سبيل المثال، أظهرت جزيئات $Fe_3O_4$ النانوية سلوكًا شبيهًا بالمغناطيسية الفائقة، على الرغم من أن أكسيد الحديد السائب ($Fe_3O_4$) مغناطيسي. الطاقة السطحية الاستثنائية والاتجاه المقلوب للإلكترونات المغزلية للجسيمات النانوية $Fe_3O_4$ هي المسؤولة عن هذه الظاهرة. لا تكون الجسيمات النانوية المغناطيسية الفائقة مغناطيسية عند وضعها في مجال مغناطيسي صفري، ولكنها سرعان ما تصبح ممغنطة بعد تطبيق مجال مغناطيسي خارجي. عندما تكون تحت القطر المغنطيسي الفائق، يمكن للجسيمات النانوية أن تعود بسرعة إلى حالة غير ممغنطة بعد إزالة المغناطيس الخارجي. هناك العديد من المواد البلورية التي تظهر المغناطيسية الحديدية، مثل Fe أو Co أو Ni. من بينها، أكسيد الفريت المغنتيت ($Fe_3O_4$) هو الأكثر استخدامًا في شكل جسيمات نانوية مغنطيسية فائقة لجميع أنواع التطبيقات البيولوجية

## 5.6.1 التفاعل التحفيزي للمواد النانوية Catalytic interaction of nanomaterials

عادةً ما تظهر المواد النانوية ذات الطاقة السطحية العالية تفاعلية تفاعلية عالية، والتي تكون مسؤولة أيضًا عن ضعف استقرارها. يمكن أن تتحلل بسهولة أو تتأكسد مع التعرض للبيئة. يختلف التركيب الإلكتروني للمادة النانوية وعدد ذرات السطح اختلافًا كبيرًا عن المواد الاولية،

والتي تعد مسؤولة بشكل أساسي عن التفاعل العالي للمواد النانوية. لطالما اعتبرت المواد النانوية محفزات غير متجانسة واعدة، نظرًا لارتفاع نسبة سطحها إلى الحجم وإمكانية تعظيم الجوانب النشطة من خلال التلاعب بمورفولوجيا البلورات النانوية. البلورة النانوية الصغيرة التي يبلغ قطرها 1 نانومتر ستحتوي على 100٪ من ذراتها على السطح، بينما البلورة النانوية بقطر 10 نانومتر سيكون لديها 15٪ فقط من ذراته على السطح. وبالتالي فإن البلورة النانوية الصغيرة ذات مساحة السطح الكبيرة تمتلك منطقة تفاعل متزايدة، في حين أن نصف القطر الصغير يقلل من انتشار الحاجز. هذه الظواهر المميزة على المقياس النانوي تؤدي إلى تحول كيميائي في الخواص الحركية وتسمح بحدوث العديد من التحولات الكيميائية في ظل ظروف معتدلة، وهو أمر غير ممكن للمواد السائبة. علاوة على ذلك، فإن التغيير النوعي في البنية الإلكترونية الناشئ عن الحبس الكمي والذرات السطحية غير المشبعة في الجسيمات النانوية مسؤول أيضًا عن الخصائص التحفيزية غير العادية على هذه الجسيمات، والتي تختلف تمامًا عن تلك الخاصة بالمعادن السائبة. عادة ما تظهر الذرات في أي مادة اثنين بيئات الترابط المختلفة: الذرات الداخلية المشبعة وذرات السطح غير المشبعة. تختلف عن الذرات الداخلية المشبعة، تترك ذرات السطح غير المشبعة بعض الروابط الكيميائية "متدلية" من الخارج، أي روابط متدلية. تحتوي الجسيمات النانوية بشكل عام على عدد كبير من الذرات السطحية، مما يؤدي إلى زيادة عدد ذرات السطح غير المشبعة. هذه الزيادة يمكن أن تعزز بشكل كبير كثافة الروابط المتدلية على أسطح الجسيمات النانوية وبالتالي تزيد من طاقة السطح. تحدد طاقة السطح كيفية تفاعل السطح مع البيئة الخارجية. السطح الذي يحتوي على طاقة أعلى يكون أكثر تفاعلًا لأنه سيحاول تقليل طاقته من خلال التفاعل مع المواد المناسبة من البيئة الخارجية. ومن ثم، فإن ذرات السطح غير المشبعة تظهر عادة تفاعلية أعلى من الذرات المشبعة بسبب ارتفاع طاقة السطح المشتقة من بيئات الترابط غير المكتملة. مع انخفاض حجم المواد، تزداد مساحة السطح الإجمالية بشكل كبير، جنبًا إلى جنب مع عدد ذرات السطح غير المشبعة ذات التفاعل العالي. علاوة على ذلك، هذه تُظهر ذرات السطح غير المشبعة هياكل إلكترونية محلية منفصلة عن بنية النطاق الداخلية. وبالتالي، توجد فجوة طاقة بين نطاقي التكافؤ والتوصيل بعرض محدد اعتمادًا على العدد المتاح من التكافؤ الإلكترونات في الجسم النانوي. نظرًا لأن التفاعلات التحفيزية تحدث عادةً في درجات حرارة مرتفعة، فإن تأثير فجوة النطاق هذا له تأثير كبير على زيادة تفاعل الجسيمات النانوية من خلال الإثارة الإلكترونية الجماعية الأكبر التي تتجاوز الحالات الأرضية المتوسطة بالإضافة إلى ذلك، قد ينتج عن العديد من العيوب البلورية الموجودة في سطح الجسيمات النانوية ترتيبات غير منتظمة للذرات أو الجزيئات على السطح البلوري، مما قد يؤدي إلى إنشاء بيئة ارتباط غير كاملة للذرات حول العيوب،

وبالتالي تغيير تفاعل هذه الذرات. عادة ما يتحكم العدد الإجمالي للعيوب ودرجة تجميع العيوب في بيئة الترابط غير المكتملة هذه. لمناقشة العلاقة بين التفاعل والعيوب، يمكن أخذ عيوب الشواغر كمثال. عندما تكون الذرة مفقودة من الصفيف البلوري العادي، يحدث خلل في الفراغ وينتج عنه عدم تشبع الذرات المجاورة. كما هو مبين في الشكل (23.1)، يقل تشبع الذرات حول عيوب الشغور مع زيادة عدد العيوب ودرجة تجميعها. مقارنة بالنسبة للذرات العادية في مجموعة بلورية، فإن هذه الذرات غير المشبعة الناتجة عن عيوب الشغور قد تظهر تفاعلية أعلى بسبب ارتفاع طاقة السطح المرتفعة من بيئة الترابط غير المكتملة. وبالتالي، بالنسبة للجسيمات النانوية، فإن بعض العيوب هي أيضًا عامل رئيسي يحدد تفاعلها.

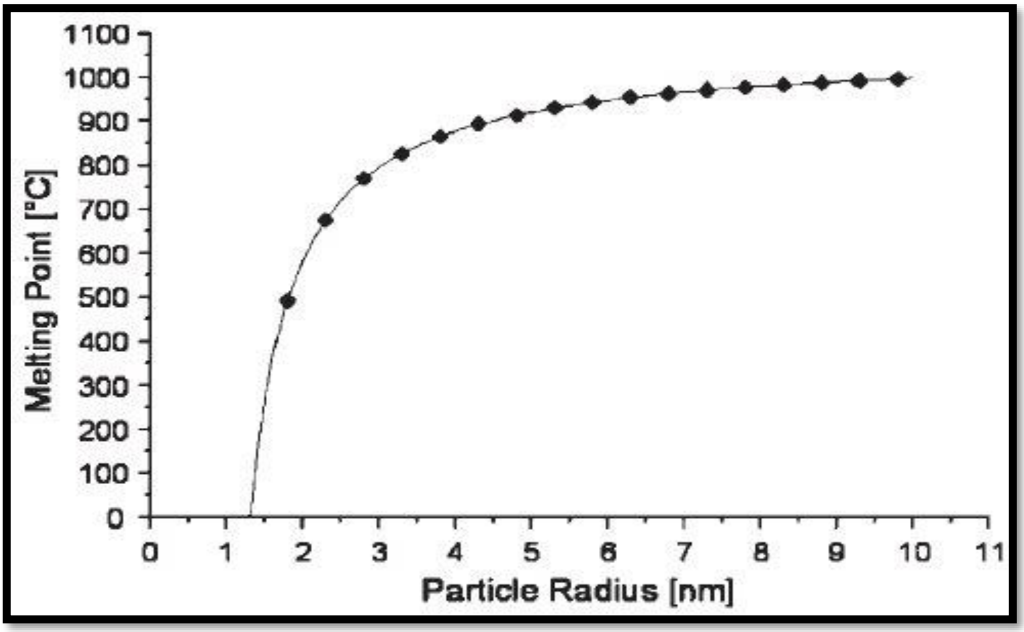



**الشكل (23.1) رسم تخطيطي للروابط المتدلية وعيوب الشغور على سطح بلوري**

## 6.6.1 الخواص الحرارية Thermal properties

المواد النانوية لها موصلية حرارية أعلى من تلك الموجودة في السوائل في صورة صلبة. على سبيل المثال الموصلية الحرارية للنحاس في درجة حرارة الغرفة أكبر بحوالي 700 مرة من تلك الخاصية بالماء وحوالي 3000 مرة أكبر من تلك الخاصة بزيت المحرك. حتى الأكاسيد مثل الألومينا ($Al_2O_3$) لها موصلية حرارية أعلى من تلك الموجودة في الماء. لذلك، من المتوقع أن تعرض الموائع المحتوية على جسيمات صلبة لا تعمل موصلات حرارية محسنة بشكل كبير بالنسبة إلى تلك الخاصة بسوائل نقل الحرارة الاعتيادية. يتم إنتاج الموائع النانوية عن طريق تشتيت الجسيمات الصلبة ذات المقاييس النانوية إلى سائل

مثل الماء أو جلاي كول الإيثيلين أو الزيوت. من المتوقع أن تظهر الموائع النانوية خواصًا فائقة مقارنةً بسوائل نقل الحرارة الاعتيادية والسوائل التي تحتوي على جزيئات مجهرية الحجم. نظرًا لأن انتقال الحرارة يحدث على سطح الجزيئات، فمن المستحسن استخدام الجسيمات ذات المساحة الكلية الكبيرة. تزيد مساحة السطح الكلية الكبيرة أيضًا من عدم الاستقرارية. تم مؤخرًا إثبات أن الموائع النانوية التي تتكون من Cu-O أو $Al_2O_3$ NPs في الماء أو الإيثيلين تظهر موصلية حرارية متقدمة كما في الشكل (24.1) [35]

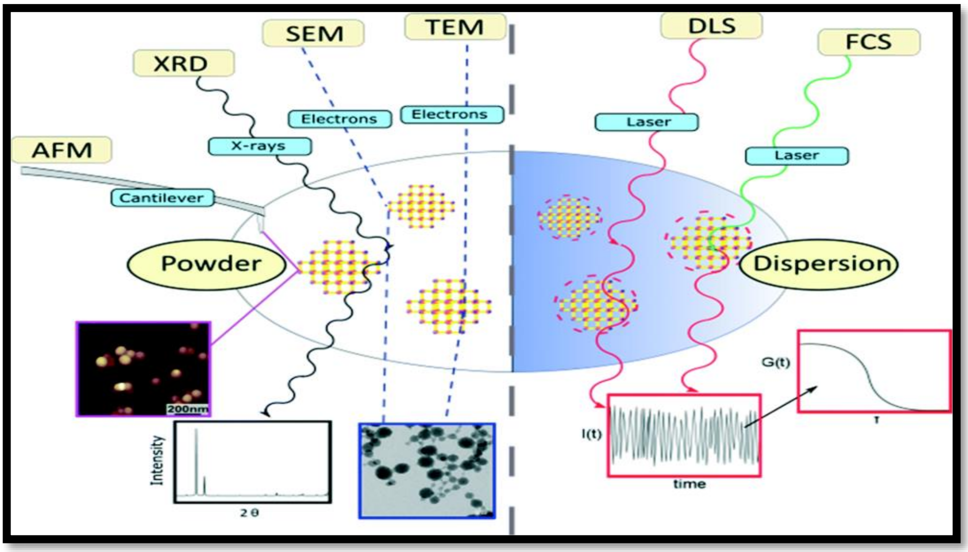



**شكل (24.1) نقطة الانصهار كدالة لحجم جزيئات الذهب النانوية** [50].

## 7.1 طرائق تشخيص المواد النانوية

## Methods of diagnosis Nanomaterials

الخواص التي تتم دراستها في توصيف وتشخيص المواد النانوية nanomaterials هي الحجم ،الشكل، توزيع الحجم، التكتل، شحنة السطح و مساحة السطح يتم تشخيص المواد النانوية في فحوصات كيميائية و فيزيائية عدة و من ضمنها، كما مبين في جدول (2.1) و شكل (25.1) [51]




الشكل (25.1) بعض طرائق توصيف وتشخيص مورفولوجيا المواد النانوية [52]

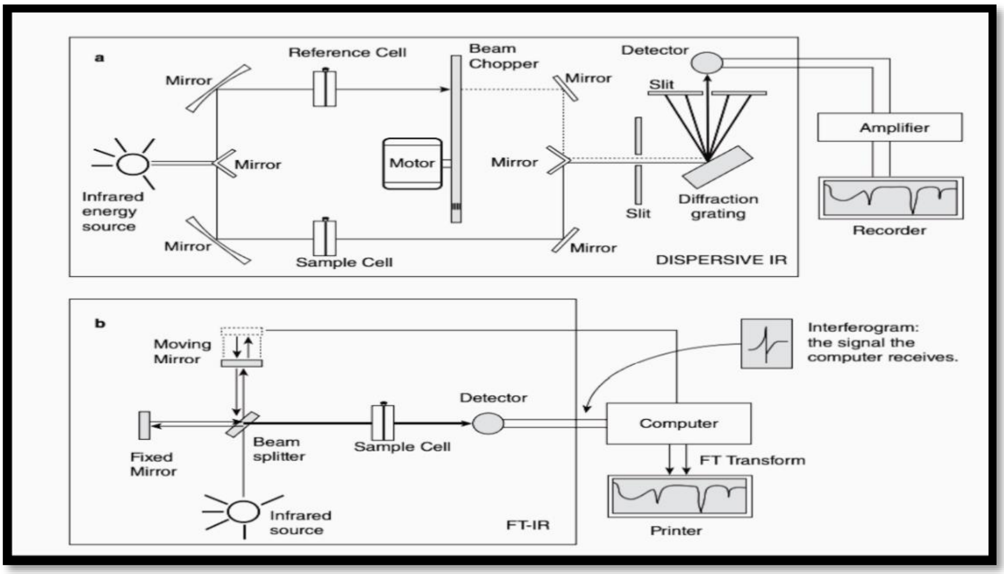
الجدول (2.1) التوصيف الفيزيائي للمواد النانوية

| **Parameter** | **Bulk material** | **Aerosol (dispersed state)** |
|---|---|---|
| Particle size | TEM/FEGSEM | SMPS, TEM |
| Particle morphology | TEM/FEGSEM | TEM/FEGSEM |
| Agglomeration state | Dynamic light scattering or tracking analysis | SMPS, TEM |
| Specific surface area | BET | Surface concentration based on diffusion charging |
| Crystallinity | XRD | TEM/SAED |
| Elemental composition | TEM/EDX | TEM/EDX |

## 1.7.1 مطيافية الاشعة تحت الحمراء

## Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR)

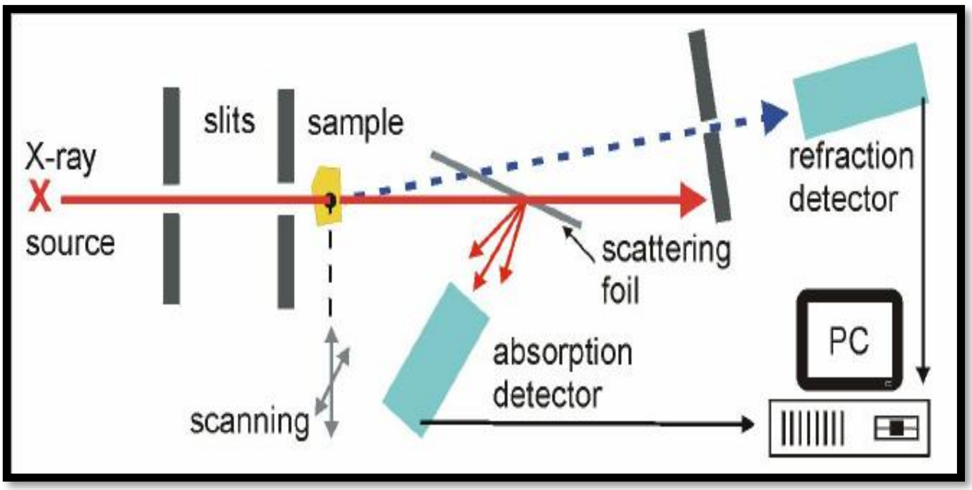
التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء (مطيافية الأشعة تحت الحمراء أو التحليل الطيفي الاهتزازي) هو قياس تفاعل الأشعة تحت الحمراء مع المادة عن طريق الإمتصاص أو الإنبعاث أو الانعكاس. يتم استخدامه لدراسة وتحديد المواد الكيميائية أو المجموعات الوظيفية في أشكال صلبة أو سائلة أو غازية. يتم إجراء طريقة أو تقنية التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء باستخدام جهاز يسمى مقياس طيف الأشعة تحت الحمراء (أو مقياس الطيف الضوئي) الذي ينتج طيفًا للأشعة تحت الحمراء. يمكن تصور طيف الأشعة تحت الحمراء في رسم بياني لامتصاص ضوء الأشعة تحت الحمراء (أو النفاذية) على المحور الرأسي مقابل التردد أو العدد الموجي على المحور الأفقي. وحدات التردد النموذجية المستخدمة في أطياف الأشعة تحت الحمراء هي سنتيمترات متبادلة (تسمى أحيانًا العدد الموجي)، مع الرمز $cm^{-1}$. [53]يعد مطياف (FTIR) تقنية تحليلية تقيس اهتزازات الرابطة الجزيئية عبر امتصاص الأشعة تحت الحمراء. تحصل هذه التقنية تقليديًا على أطياف مفردة من عينة، وتحسب متوسط معلومات الامتصاص على حجم فتحة محدد مسبقًا [54] يتم الحصول على الطيف المرغوب بعد أن قام مخطط التداخل تلقائيًا بطرح طيف الخلفية من طيف العينة بواسطة برنامج تحويل فورييه للكمبيوتر. كما مبين في شكل [55](26.1)




**شكل (26.1) يوضح تخطيط تقنية طيف الأشعة تحت الحمراء**

## 2.7.1 حيود الاشعة السينية X-ray diffraction (XRD)

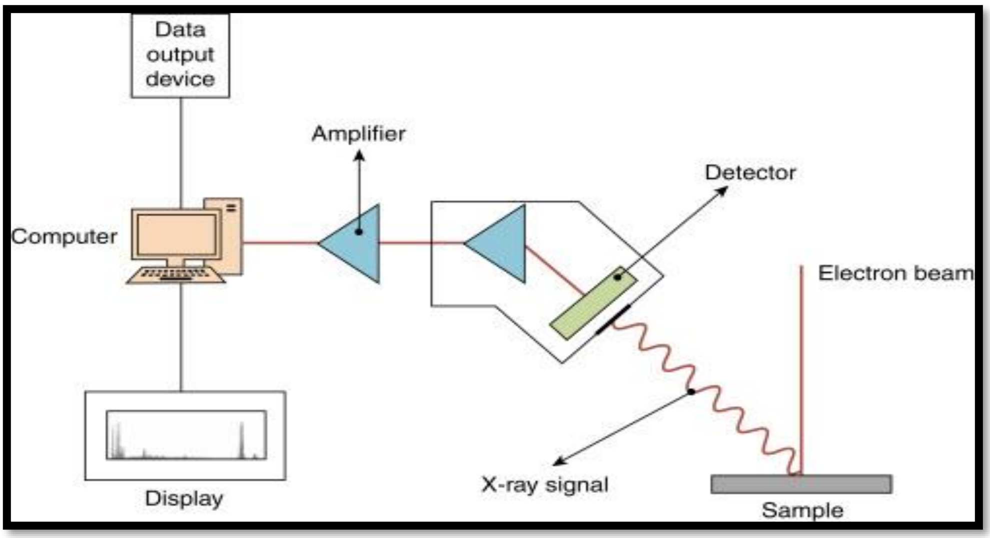
يستخدم مطياف الأشعة السينية على نطاق واسع للتحليل الكيميائي النوعي والكمي، على وجه الخصوص، في المجاهر الإلكترونية. التصوير الشعاعي بالأشعة السينية هو تقنية تصوير تعتمد على تسجيل الشدة التي تمر عبر جسم ما باستخدام الأفلام أو أجهزة الكشف التي تسمح بجعل هيكلها الداخلي مرئيًا بسبب الإختلاف المحلي في الامتصاص. تعتمد طريقة XRD على قدرة البلورات على حيود الأشعة السينية بطريقة مميزة تسمح بدراسة دقيقة لهيكل الأطوار البلورية. تحتوي أنماط الحيود المسجلة على مساهمات مضافة للعديد من السمات الهيكلية الدقيقة والكلي للعينة. يتم إجراء مسح قصير للأجهزة لقياسات XRD. يتم بعد ذلك وصف طرق تحليل الطور وقياسات الإجهاد المتبقية. [56]مبدأ الاساس يتكون مقياس حيود الأشعة السينية النموذجي من 4 مكونات رئيسية: (1) أنبوب أشعة سينية مغلق ، مع أنود مستهدف من النحاس بشكل عام ، والذي يصدر طيفًا للأشعة السينية لخطوط طيفية مميزة متراكبة على خلفية إشعاعية "بيضاء" مستمرة ؛ (2) المرحلة التي يتم فيها تركيب مسحوق العينة ؛ (3) كاشف يقيس شدة الأشعة السينية المنعرجة بواسطة العينة ؛ و (4) نظام محاذاة الحزمة الذي يوجه الأشعة السينية العارضة من المصدر إلى العينة والأشعة السينية المنقسمة من العينة إلى الكاشف ؛ يقلل أحادي اللون من شدة الإشعاع الأبيض ويزيل الطول الموجي غير المرغوب فيه من طيف الأشعة السينية. يمكن عادةً تشغيل أجهزة قياس الانعكاس إما في الانعكاس أو تكوينات الإرسال. يعتبر الانعكاس أكثر شيوعًا في الإعداد المختبري كما هو مبين في شكل (27.1) [57].




**شكل (27.1) جهاز انحراف الأشعة السينية**

## 3.7.1 تحليل الاشعة السينية المشتتة للطاقة
## Energy dispersive x-ray analysis (EDX)

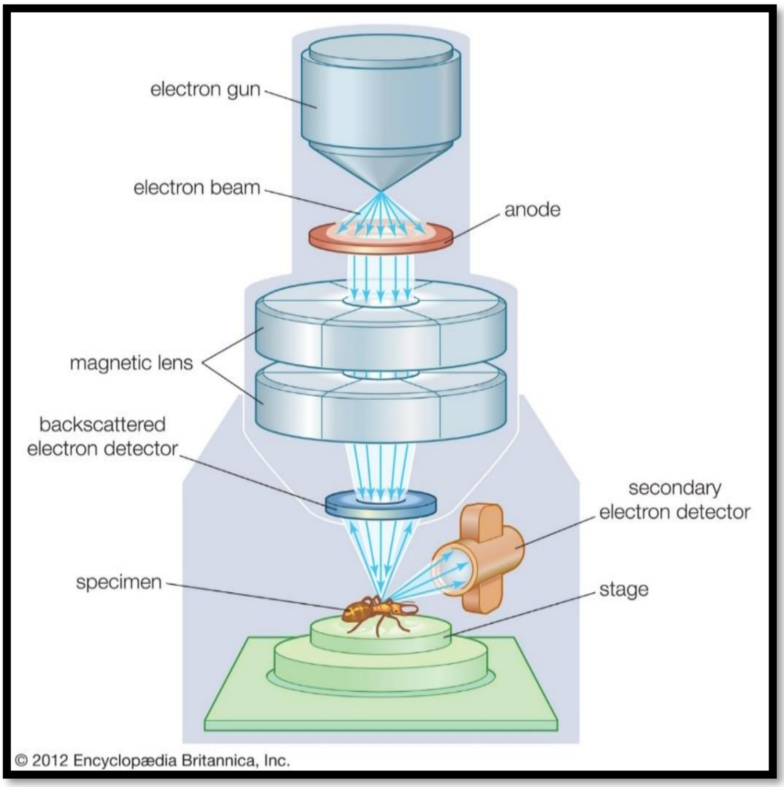
المجهر الإلكتروني التحليلي تمكن من تحديد نسب تركيز العناصر بحساسية نسبة قليلة من الذرات في التحليل المجهري عن طريق التحليل الطيفي للأشعة السينية المشتتة للطاقة (EDX). يتم ذلك عبر نسب إشارة EDX والمقارنة مع العينات المرجعية لتقليل تأثير عدم اليقين في عوامل مثل السماكة، المقطع العرضي للتأين، إنتاجية التألق وهندسة الكاشف. ومن حيث المبدأ، من الممكن مقارنة النطاق المطلق مع حسابات المقطع العرضي للتأين. في طيف EDX، يتم الحصول على معظم القمم بواسطة الأشعة السينية والتي يتم إنتاجها بواسطة إشعاع التألق المميز. تقنية التوصيف هذه ذات صلة بالمبدأ الأساسي للجدول الدوري؛ يحتوي كل عنصر من عناصر الجدول الدوري على تكوين ذري فريد يعطي مجموعة معينة من القمم على طيف إشعاع الأشعة السينية. عند سقوط شعاع عالي الطاقة من الجسيمات النشطة، مثل الإلكترونات أو البروتونات أو شعاع من الأشعة السينية على العينة. يمكننا تقدير كمية طاقة الأشعة السينية المشعة من عينة عبر مطياف مشتت للطاقة. في تحليل تشتت الطاقة، يتم فحص إشعاع فلورسنت معين عن طريق فرز طاقة الفوتون. تعتمد شدة كل إشعاع على كمية كل عنصر موجود في العينة[58].




**الشكل( 28.1)الطاقة التشتت الأشعة السينية الطيفي.**[59]

## 4.7.1 المجهر الالكتروني الماسح
## Scanning Electron Microscope (SEM)

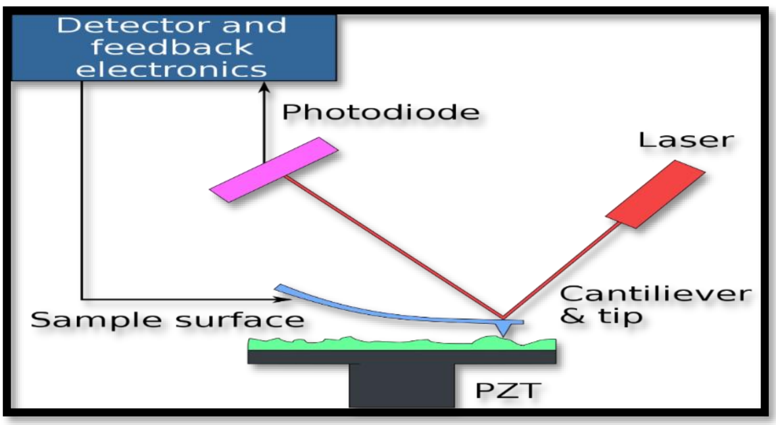
لقد أدت قدرة المجاهر الإلكترونية على تصوير الأجسام ذات الحجم دون الميكروني، حتى وصولاً إلى مواقع ذرية واحدة، إلى تطوير تقنيات نانوية جديدة تمامًا، كما مكّنت من حدوث تطورات ملحوظة من خلال هندسة النانو للمكونات الكبيرة. أصبح المجهر الإلكتروني تقنية رئيسة لتوصيف المواد عبر مجموعة واسعة من الصناعات. تاريخياً هناك متغيرات عدة من الفحص المجهري للضوء، ولكن عادة ما يكون هناك حد لقدرتها على تمييز الأشياء والميزات الأصغر من حوالي 0.1 مم (100nm). دقة المجهر هي القدرة على فصل ميزتين بمسافة معينة عن بعضهما البعض ككائنات فردية في الصورة. بالنسبة لمجهر ضوئي، فإن حد الدقة هو خاصية جوهرية بسبب الطول الموجي l لإشعاع الضوء المرئي، والذي يتراوح من 400 nm (أزرق) إلى 700 nm (أحمر). تتفاعل الأطوال الموجية الأقصر للإشعاع بقوة أكبر مع المواد النانوية، ويمكن أن تنتج صورًا عالية الدقة و كما مبين في شكل (29.1) [60]




**شكل (29.1) مخطط للمجهر الالكتروني الماسح**

## 5.7.1 مجهر القوة الذرية Atomic force microscopy (AFM)

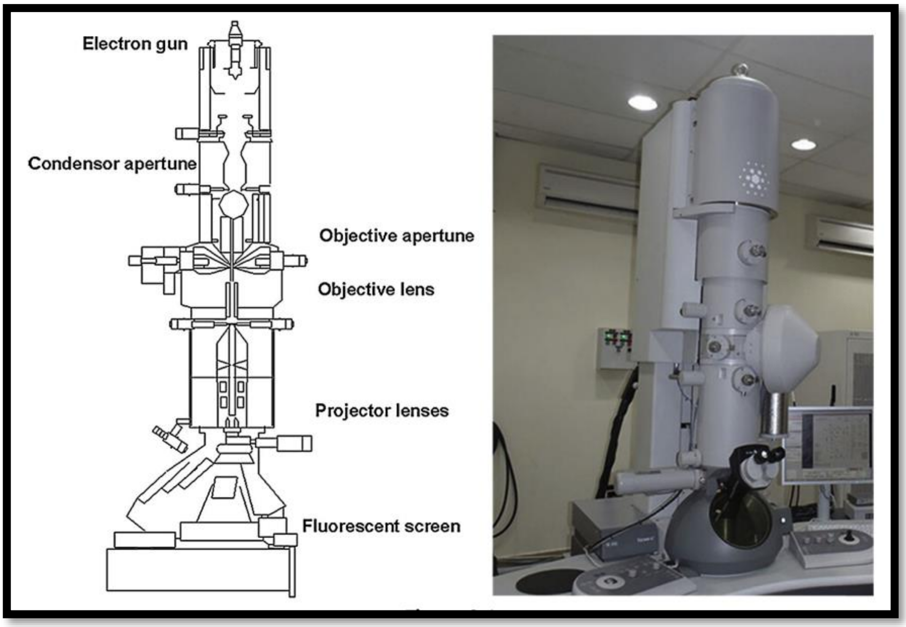
يستخدم لتحديد أسطح الحالة الصلبة غير الموصلة بدقة ذرية عن طريق المسح النقطي لقلم حاد جزيئيًا فوق السطح. بعد ذلك بوقت قصير، بدأ الباحثون في اعتبار طرف AFM كأداة نانوية تسمح بالتصوير والتلاعب بكل من المواد الحية وغير الحية من النطاق الذري إلى المقياس المجهري. سمح AFM للمستخدمين بإنشاء أوضاع تصوير مختلفة محسّنة لسطح الأنسجة والخلايا والفيروسات والبروتينات والأحماض النووية والمواد الحيوية. بالإضافة إلى ذلك، تصوير الواجهات الحيوية من النطاق المجهري إلى المقياس النانوي (الفرعي) بمعدل إشارة إلى ضوضاء غير مسبوق، يمكن استخدام AFM لتحديد خصائصها الفيزيائية أو الكيميائية أو البيولوجية في وقت واحد ورسم خرائط لها. وتقييم تأثير المضادات الحيوية على البكتيريا، وتحديد التفاعلات بين الجزيئات وأسطح الخلايا والأنسجة، وتحديد محيط الطاقة الحرة للتفاعلات الجزيئية الحيوية في الواجهات. تنحرف الكابول وتغير موضع شعاع الليزر المنعكس من الجزء الخلفي من الكابول إلى الثنائي الضوئي الحساس للموضع. تتم قراءة هذه المعلومات بواسطة نظام التغذية المرتدة، إذ حيث يتم تعديل المسافة العمودية (الارتفاع) بين القلم والعينة نتيجة للقوة التي يتم قياسها بينهما. يتم رسم قيم ارتفاع القلم عند نقاط منفصلة في الفحص كإعادة بناء لتضاريس العينة كما مبين في شكل (30.1) [61] .




**شكل (30.1) مخطط مجهر القوة الذرية**

## 6.7.1 المجهر الالكتروني النافذ
## Transmission electron microscopy (TEM)

يصعب حل الهياكل النانوية بالمجهر الضوئي التقليدي. يوفر الفحص المجهري الإلكتروني (TEM)بديلاً قويًا لفحص بعض الميزات الدقيقة التي تقل أبعادها المميزة عن 100 نانومتر (أو حتى إلى النطاق الذري في بعض الحالات). تم تطبيق TEM على نطاق واسع في مجالات العلوم والهندسة البيولوجية والمادية. تم تطبيقه بشكل متزايد في مجال فصل الغشاء لتوصيف السمات الدقيقة والنانوية للأغشية [على سبيل المثال، هيكل غشاء التناضح العكسي (RO) المركب الرقيق (TFC) أو غشاء الطبقة الفاسدة] كذلك باعتبارها اللبنات الأساسية (على سبيل المثال، التشكل / أو التركيب البلوري للجسيمات النانوية المدمجة في الأغشية). والغرض من هذا الفصل هو تقديم أساسيات تقنيات TEM وتلخيص الأدبيات الحالية التي تصف توصيف TEM المحدد للمواد والهياكل الغشائية المختلفة. يتم توضيح نظام التصوير لـ TEM على النحو التالي: يمكن تركيز حزم الإلكترون، المتولدة من مدفع إلكتروني، عن كثب عن طريق الفتحات المعدنية والعدسة الكهرومغناطيسية في عمود .TEM تعتمد آلية ظاهرة تركيز الإلكترونات على الطابع الموجي للإلكترونات لأنها تتصرف كجسيمات سالبة الشحنة، ثم تنحرف بفعل المجالات المغناطيسية أو الكهربائية. تم أيضًا تطبيق تطبيقات هذه الخاصية من الإلكترونات على نطاق واسع في الأجهزة الكهربائية الحديثة، مثل شاشات الكمبيوتر وأنابيب عرض التلفزيون وأنابيب أشعة الكاثود. خلال هذا الإجراء، يمكن أن تمر الإلكترونات فقط ضمن نطاق صغير من الطاقة، مما يؤدي إلى حزمة إلكترون ذات طاقة محددة جيدًا. بعد ذلك، يتم تطبيق الإلكترونات المرسلة على العينة الموجودة في عمود TEM، والتي يتم وضعها على حامل العينة (أو تسمى شبكة TEM، والتي تتكون من إطار معدني وفيلم قائم على الكربون) مزود بذراع ميكانيكي للتحكم في الموضع وعقد العينة. يجب أن يكون سمك عينة TEM عادةً في حدود 100 نانومتر حتى تمر الإلكترونات. يمكن أن يكون للعديد من العوامل في العينات تأثير على انتقال الحزمة الإلكترونية، مثل كثافة العينة أو تكوينها. على سبيل المثال، يمر عدد أكبر من الإلكترونات عبر معدن مسامي، بينما يمر عدد أقل من المواد الأكثر كثافة. من خلال تطبيق عدسة مكثف في TEM، يمكن أيضًا الحصول على معلومات التركيب البلوري للعينة بواسطة حزم الإلكترونات المتوازية. يتم إعادة تركيز الإلكترونات المرسلة ثم تكبيرها بواسطة نظام عدسة كهرومغناطيسي يتكون من عدستين بعد مرورهما عبر العينة، ويتم عرضها على شاشة الفوسفور لتحويل صورة الإلكترون




**شكل (31.1) رسم تخطيطي للميكروسكوب الإلكتروني النافذ.**

# الفصل الثاني

# نظرة عامة

# طرق التحضير، المزايا والعيوب، والتطبيقات

# مع بعض مركبات النانوية

# Overview of preparation methods, advantages and disadvantages, and applications with some nanocomposites

## 1.2 المقدمة Introduction

**نظرة عامة على طرق التحضير، المزايا والعيوب، والتطبيقات**

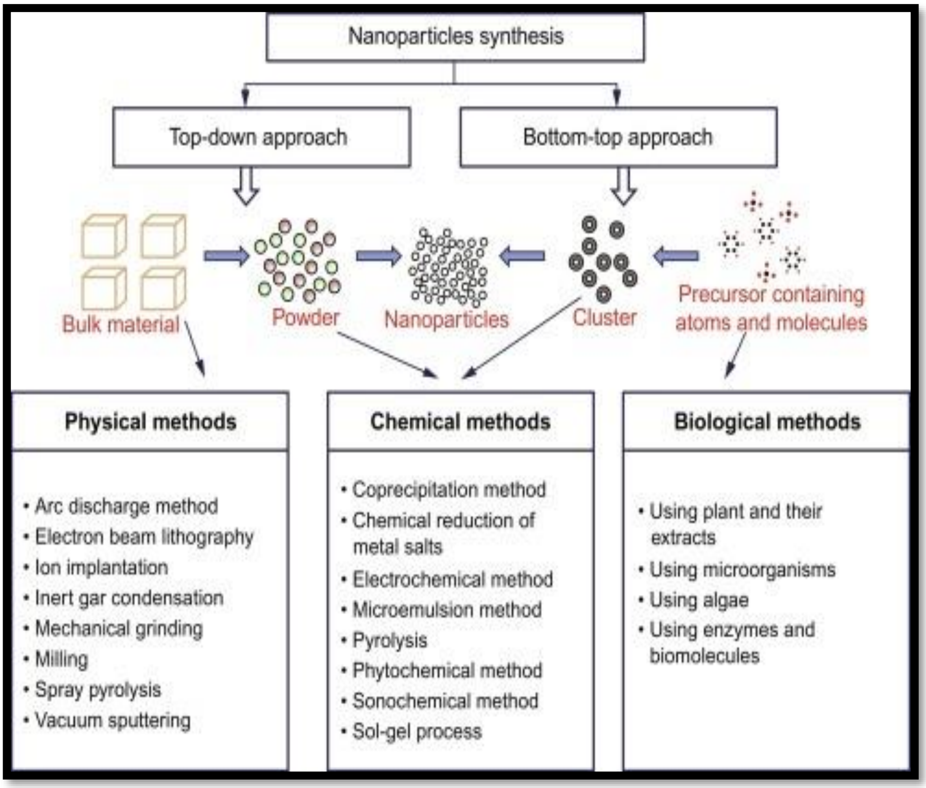
**Overview of preparation methods, advantages and disadvantages, and applications**

تم زيادة استخدام الجسيمات النانوية في مجالات مختلفة مثل البيولوجيا الجزيئية والفيزياء والكيمياء العضوية وغير العضوية والطب وعلوم المواد بشكل غير متوقع في الوقت الحاضر. يوضح الانخفاض في حجم الجسيمات إلى حجم النانو خصائص غريبة ومحسنة مثل توزيع حجم الجسيمات والتشكل التي لا تظهر بالجسيمات الأكبر حجمًا من المواد السائبة(الأولية). تمت صياغة مصطلح "الجسيمات النانوية" من العمل اليوناني "نانو" الذي يعني "قزم أو صغير" وعند استخدامه كبادئة، فإنه يشير إلى الحجم $10^{-9}$ واحد من المليار من المتر يساوي 1 نانومتر. للجسيمات النانوية خصائص طور جزيئي ذائب ومنفصل. نسبة السطح إلى الحجم للجسيمات النانوية أعلى بنسبة 35-45٪ مقارنة بالجسيمات الكبيرة أو الذرة. هذه الخاصية الخارجية الفريدة لمساحة سطح معينة من الجسيمات النانوية هي عامل مساهم لقيمتها العالية وتؤثر أيضًا على الخصائص الجوهرية المختلفة مثل تفاعل السطح القوي الذي يعتمد على الحجم. بشكل عام، هذه الميزات الحصرية للجسيمات النانوية هي المسؤولة عن خصائصها متعددة الوظائف وتنمية الاهتمام بتطبيقها في مختلف المجالات مثل الطاقة والأدوية والتغذية. السنوات القليلة الماضية. يتم استخدام المعادن النبيلة مثل الذهب والفضة والبلاتين التي لها آثار مفيدة على الصحة لتخليق الجسيمات النانوية وتسمى بالجسيمات النانوية المعدنية. يركز الباحثون في الوقت الحاضر على الجسيمات النانوية المعدنية، والبنى النانوية، وتركيب المواد النانوية نظرًا لخصائصها الواضحة المفيدة في التحفيز، والمركبات مثل مستحضرات البوليمر، وتشخيص الأمراض وعلاجها، وتكنولوجيا الاستشعار، تستخدم طرق فيزيائية وكيميائية مختلفة مثل التغيرات الكهروكيميائية، والاختزال الكيميائي، والاختزال الكيميائي الضوئي لتحضير وتثبيت الجسيمات النانوية المعدنية. اختيار طريقة تحضير المعدن للجسيمات النانوية مهمة بنفس القدر لأنه أثناء عمليات تخليق الجسيمات النانوية مثل حركية تفاعل أيونات المعادن مع عامل الاختزال، تنتج عملية امتزاز عامل التثبيت مع الجسيمات النانوية المعدنية والتقنيات التجريبية المختلفة تأثيرًا قويًا على استقرار مورفولوجيتها (الهيكل والحجم) وخصائصها الفيزيائية والكيميائية. العديد من الجسيمات المعدنية الموجودة في المنتجات مثل مستحضرات التجميل والمنظفات ومعجون الأسنان والصابون والشامبو والأدوية والمنتجات الصيدلانية تتلامس مباشرة مع الإنسان. يستخدم الذهب على نطاق واسع في

الأدوية ومستحضرات الايورفيدا في الهند والصين. يتم استخدام جزيئات الذهب النانوية للعديد من أغراض التشخيص وتوصيل الأدوية. بصرف النظر عن هذا، يتم استخدام جسيمات نانوية معدنية أخرى مثل الجسيمات النانوية الفضية في العديد من التطبيقات الطبية الحيوية مثل علم الفصل ونظام توصيل الأدوية الجديد. تشتهر الفضة بقدراتها المضادة للميكروبات والالتهابات. يتم استخدام هذه الخاصية بشكل انتقائي لرفع سرعة التئام الجروح واعتمادها تجاريًا في تضميد الجروح، وتركيبات الجرعات الصيدلانية المختلفة وطلاء الزرع الطبي. تم أيضًا تقييم الجسيمات النانوية المعدنية الأخرى مثل الجسيمات النانوية البلاتينية لتأثيرها المفيد للصحة واستخدمت بنجاح في التطبيقات الطبية الحيوية إما في شكل نقي أو معادن مخلوطة بشكل منفرد أو بالاشتراك مع جسيمات نانوية معدنية أخرى. يتزايد استخدام الجسيمات النانوية المعدنية بشكل مستمر في جميع أنحاء العالم في الطب الحيوي والتخصصات المماثلة. في ضوء ذلك، فإن المراجعة الحالية عبارة عن مجموعة متنوعة من الطرق المختلفة المستخدمة لتحضير الجسيمات النانوية المعدنية ومزاياها وعيوبها وتطبيقاتها.

## 2.2 طرائق تحضير المواد النانوية
## Methods of metallic nanoparticle preparation

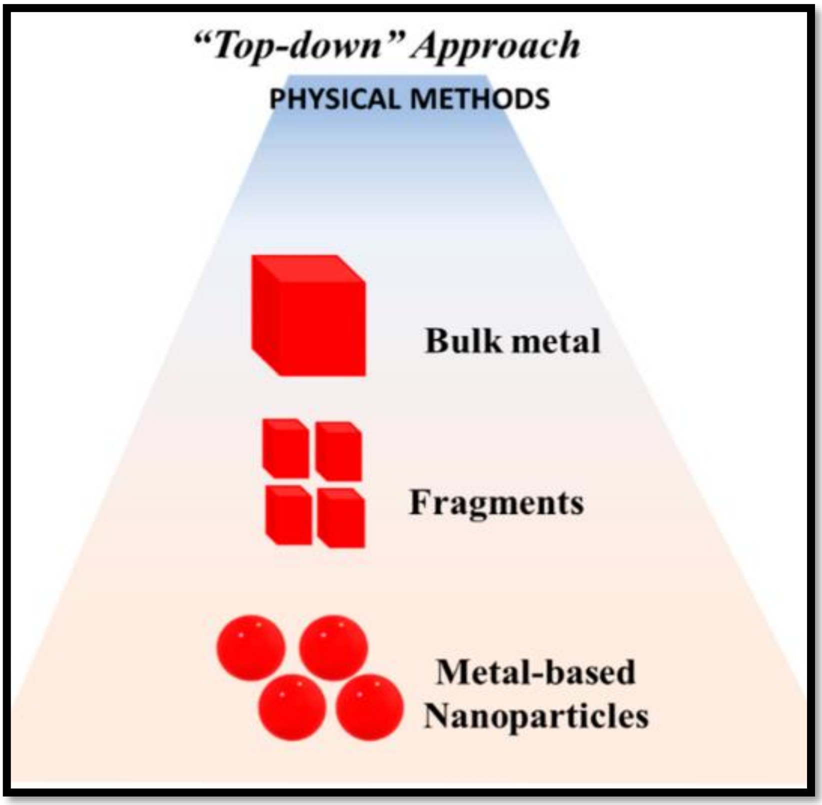
يتم تحضير الجسيمات النانوية المعدنية والتي يتم تصنيفها إلى نوعين رئيسين كطرائق من أعلى إلى أسفل(Top-down) وطرائق من أسفل إلى أعلى (Bottom-up )، وتم إدراجها في الشكل (1.2)[62,63] يتمثل الاختلاف الرئيس بين الطريقتين في بدء مادة تحضير الجسيمات النانوية. المواد السائبة هي التي (يزيد حجمها عن 100 نانومتر في جميع الأبعاد. يمكننا رؤية جسيماتهم بالعين المجردة) تُستخدم كمواد أولية في طرائق من أعلى إلى أسفل ويتم تقليل حجم الجسيمات إلى جسيمات نانوية من خلال عمليات فيزيائية وكيميائية وميكانيكية مختلفة ، في حين أن الذرات أو الجزيئات هي مادة البداية في الطرق من أسفل إلى أعلى [64,65] .




**الشكل (1.2) نـهج من أعلى إلى أسفل ومن أسفل إلى أعلى لتركيب الجسيمات النانوية.**[66]

## 1.2.2 طريقة من الاعلى إلى الأسفل Top-down method

في هذه الطريقة يتم تحويل المواد الكبيرة إلى جزيئات صغيرة بحجم النانو. يعتمد تحضير الجسيمات النانوية على تقليل حجم مادة البداية عن طريق العلاجات الفيزيائية والكيميائية المختلفة. وهي تشمل طرقًا مثل الطحن الميكانيكي، والاستئصال الحراري، والاستئصال بالليزر. على الرغم من سهولة تنفيذ الطرق من أعلى إلى أسفل، إلا أنها ليست طريقة مناسبة لإعداد جزيئات صغيرة الحجم وذات أشكال غير رسمية. المشكلة الرئيسية المرتبطة بهذه الطريقة هي أن التغيير في كيمياء السطح والخصائص الفيزيائية والكيميائية للجسيمات النانوية [62,67,68] كما في شكل (2.2)



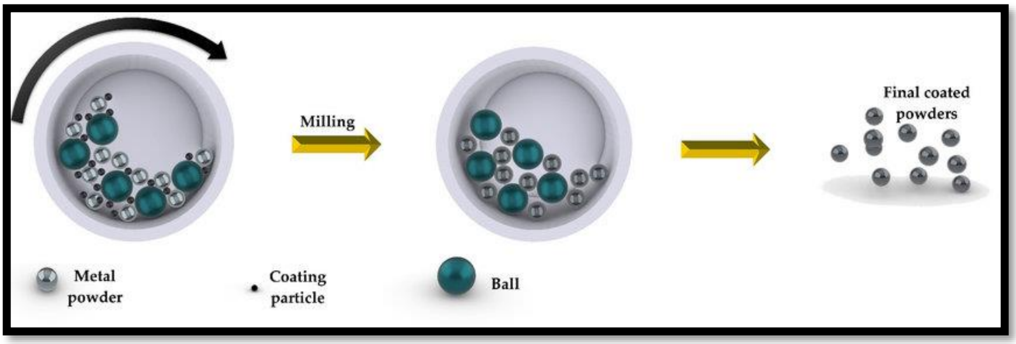

**الشكل (2.2): رسم تخطيطي لتحضير الجسيمات النانوية بواسطة عملية ميكانيكية طريقة من الاعلى للأسفل** [69]

## 1.1.2.2 الطحن الميكانيكي Mechanical grinding

**طحن الكرة**

مبدأ العمل للطحن الميكانيكي هو تقليل حجم الجسيمات باستخدام الطحن الكروي عالي الطاقة. في عام 1970، طور John Benjamin هذه الطريقة لتقليل حجم الجسيمات. هذا المتدرب مسؤول عن تعديل خصائص السطح. يتأثر نجاح الطحن الميكانيكي بمتغير العملية وخصائص مسحوق الطحن. يتم تصنيفها إلى طحن منخفض الطاقة وعالي الطاقة يعتمد على الطاقة الميكانيكية المستحثة لخليط المسحوق. يتم إنتاج الجسيمات النانوية بشكل عام باستخدام عملية طحن الكرة عالية الطاقة. هذه الطريقة مفضلة على نطاق واسع لتخليق الجسيمات النانوية بين المعادن. في هذه الطريقة، يضاف المسحوق السائب إلى وعاء مع العديد من الكرات الثقيلة. يتم تطبيق طاقة ميكانيكية عالية على مواد المسحوق السائبة بمساعدة كرة دوارة عالية السرعة. يمكن تقليل حجم الجسيمات باستخدام مطاحن مختلفة

عالية الطاقة مثل مطحنة الكرة الاحتكاكية، وطاحونة الكرة الكوكبية، وطاحونة الكرة الاهتزازية، وطاحونة الدوران منخفضة الطاقة، والمطحنة الكروية عالية الطاقة. في كل هذه الطرق، قد تتدحرج الكرات عالية الطاقة الحرة والثقيلة على سطح الحجرة التي تحتوي على مادة مسحوق سائبة في سلسلة من الطبقات المتوازية أو قد تسقط بحرية وتؤثر على المسحوق.[70]




**الشكل (3.2) يوضح الطحن الميكانيكي (طحن الكرة)**

**مزايا**

مفيد للإنتاج على نطاق واسع من الجسيمات النانوية عالية النقاء مع الخصائص الفيزيائية الفائقة مثل قابلية الذوبان المعززة لمكونات الدواء التي تكون ضعيفة الذوبان في الماء بطريقة فعالة من حيث التكلفة. تؤدي إلى ظهور بعض الخصائص الجديدة والمحسنة للمكون الذي يعتمد على حجم حبيباتها وتركيبها المادي

**عيوب**

1-الطاقة العالية مطلوبة. 2- تحتاج الى فترة طويلة من وقت الطحن.3- تلوث البودرة بسبب كرات الصلب.

4- يمكن طحن البنية المجهرية شديدة الحساسية.

**التطبيقات**

-تُفضل هذه الطريقة لمزج الألمنيوم بالمغنيسيوم والكربون لتغيير خواصه الكيميائية وسلوك الاحتراق.

-تحضير مسحوق الألمنيوم (Al) وكربيد السيليكون بيتا.(β-SiC)

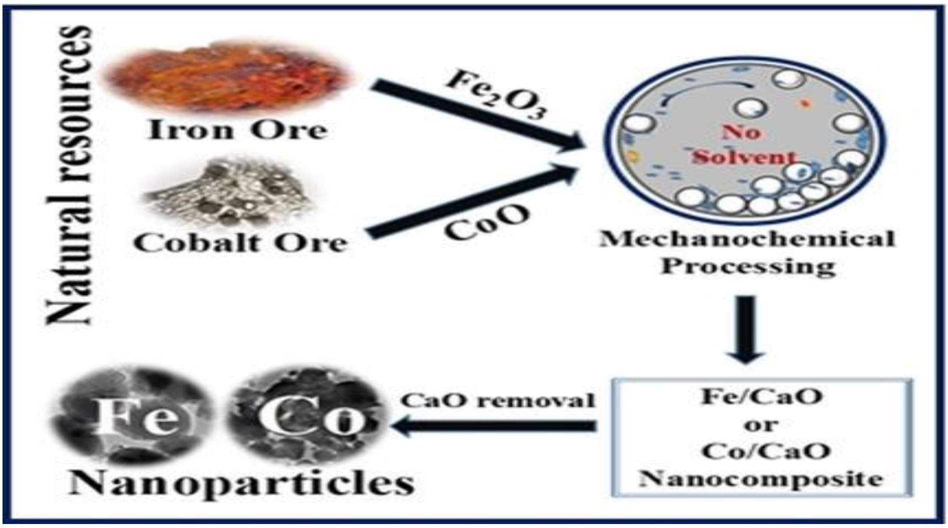
-تم مؤخرًا تحضير جزيئات السيراميك النانويةWC-14 ٪ أكسيد المغنيسيوم.(MgO) وهي طريقة مستخدمة على نطاق واسع في صناعة السبائك الميكانيكية لإنتاج سبائك غير متبلورة مثل المعادن - فلز، فلز فلزي انتقالي، وأنظمة فلز - كربون لأغراض مختلفة.

## 2.1.2.2 تخليق ميكانيكي كيميائي Chemical Mechanical Synthesis

تعتمد الطريقة على التشويه المتكرر واللحام والكسر لمزيج المواد المتفاعلة. يتم إنتاج تعديلات كيميائية مختلفة في واجهة الجسيمات بحجم النانو أثناء عملية الطحن. بشكل عام، يلزم ارتفاع درجة الحرارة قبل التفاعلات الكيميائية لأغراض مختلفة مثل فصل مراحل التفاعل عن مرحلة المنتج. يمكن الحصول على الجسيمات النانوية باستخدام مطحنة كروية في درجات حرارة منخفضة دون أي استخدام للتدفئة الخارجية. في الطريقة الكيميائية الميكانيكية للتركيب، يتم خلط المواد الأولية) مثل كربونات الصوديوم وكلوريد سداسي هيدرات لتخليق جزيئات $Fe_3O_2$ النانوية (بطريقة القياس والطحن. أثناء عملية الطحن، يحدث التشوه والكسر واللحام للمواد المتفاعلة. يتم إنشاء العديد من التفاعلات الكيميائية عند السطح البيني بين الركيزة والكاشف، وبالتالي فإن التفاعل الذي يتطلب درجة حرارة عالية سيحدث عند درجة حرارة منخفضة دون أي تطبيق خارجي للحرارة. تحدث تفاعلات إزاحة مختلفة أثناء العملية الموضحة أدناه؛

$$SxC + yR = xS + RyC$$

بينما. SxC و yR متفاعلان ، و xS منتج و RyC منتج ثانوي. تحيط الجسيمات النانوية المنتجة بمواد ثانوية مشتتة في مصفوفة ملح قابلة للذوبان. بعد ذلك تتم إزالة المنتج الثانوي عن طريق الغسيل بمذيب مناسب وبعد ذلك تجفف الجسيمات عند 105 درجة مئوية لمدة 12 ساعة.




**الشكل (4.2) يوضح تخليق ميكانيكي كيميائي**

**مزايا**

- طريقة بسيطة وفعالة لتحضير الجسيمات النانوية.

**- سلبيات**

-تعتبر البنى الدقيقة (الهياكل النانوية / الجسيمات النانوية) شديدة الحساسية لظروف الطحن وقد تتأثر بالتلوث غير المرغوب فيه من وسط الطحن والجو.

- لتحضير الجسيمات الأصغر (أصغر من 20 نانومتر) يلزم الطحن طويل المدى.

**التطبيقات**

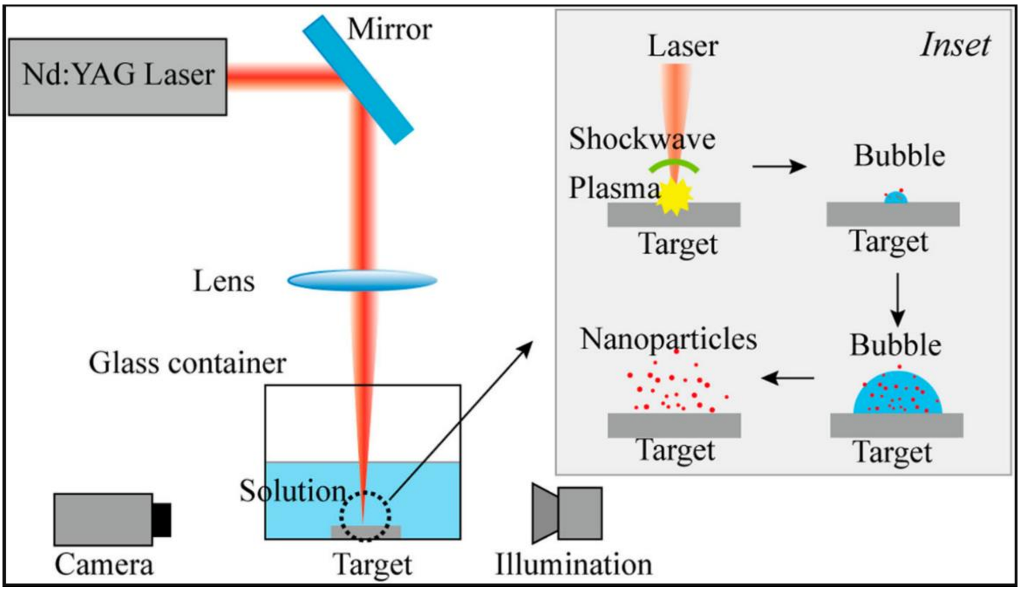
1- تخليق جزيئات أكسيد الحديد ($Fe_2O_3$) النانوية. 2- تستخدم على نطاق واسع لتخليق الجسيمات النانوية.

3-طريقة فعالة للجسيمات النانوية المعدنية (المعادن النبيلة عادة) التحضير بخصائص هيكلية وتحفيزية محسنة.

4- تشكيل السبائك على درجات حرارة منخفضة. 5- تحضير المواد النانوية مثل محفز أكسيد مختلط من الفضة والألومنيوم ($Ag / Al_2O_3$).

## 3.1.2.2 الاستئصال بالليزر laser excision

في طريقة الاستئصال بالليزر، يتم استخدام إشعاع الليزر لتقليل حجم الجسيمات إلى مستوى النانو. يتم وضع المادة الصلبة المستهدفة تحت طبقة رقيقة ثم يتم تعريضها لإشعاع الليزر النبضي. يتم استخدام ليزرNd: YAG (عقيق ألمونيوم الإيتريوم المشبع بالنيوديميوم) بإخراج 106 مايكرومتر ويتم استخدام الليزر المتناسق Ti: Sapphire (الياقوت المطلي بالتيتانيوم) وليزر بخار النحاس. يؤدي تشعيع المادة بالليزر إلى تفتيت المادة الصلبة على شكل جسيمات نانوية، والتي تظل في السائل الذي يحيط بالهدف وتنتج محلولًا غروانيًا. تحدد مدة نبضة الليزر والطاقة الكمية النسبية للذرات والجزيئات المتكونة. العديد من المعلمات مثل المدة الزمنية لنبضة الليزر، الطول الموجي، وقت الاجتثاث، طلاقة الليزر والوسط السائل المحيط الفعال مع أو بدون الفاعل بالسطح تؤثر على كفاءة الاجتثاث وخصائص الجسيمات المعدنية المتكونة.




**الشكل (5.2) يوضح عمل الاستئصال بالليزر**

**مزايا**

1- تقنية بسيطة وفعالة نسبيًا لتكوين كمية كبيرة من الجسيمات الصغيرة (حجم النانو) في شكل معلق.

2- يمكن تغيير خصائص الجسيمات النانوية عن طريق اختيار معامل الليزر وطبيعة السائل وفقًا لذلك.

3- يمكن تكوين الجسيمات النانوية بدون إضافة الفاعل بالسطح في الوسط السائل.

**العيوب**

1- يؤدي الاستئصال بالليزر لفترة طويلة إلى تكوين كمية كبيرة من الجسيمات النانوية في المحلول الغرواني الذي يسد مسار الليزر

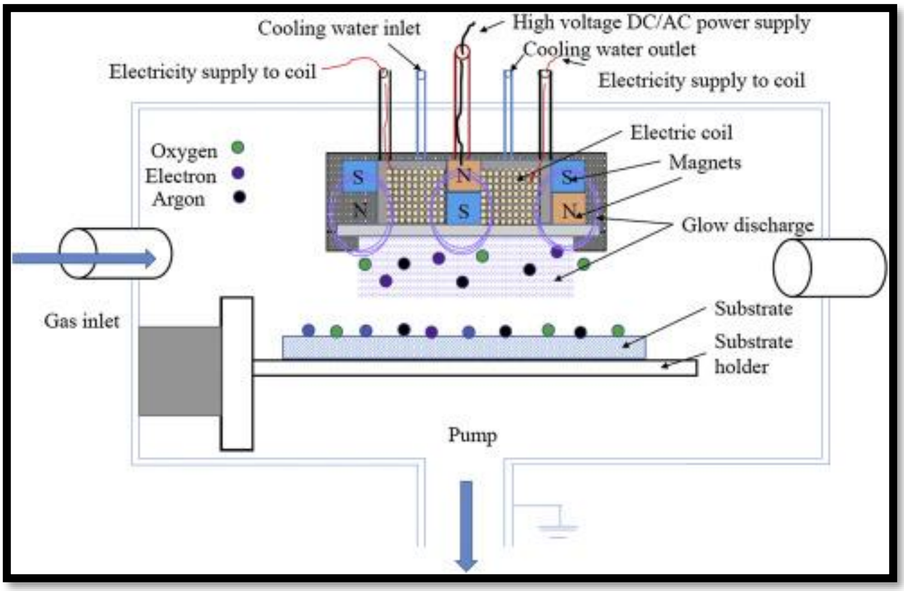
2- كما يتم امتصاص طاقة الليزر بواسطة الجسيمات النانوية المشكلة بالفعل بدلاً من السطح المستهدف. يؤدي هذا بشكل عام إلى انخفاض معدل التثبيط.

**التطبيقات**

1- تحضير طلاء الجسيمات النانوية $Al_2O_3$ 2- تحضير جسيمات السليكون النانوية.

## 4.1.2.2 الاختراق الأيوني Ion Penetration

تتضمن طريقة الرش الأيوني تبخير مادة صلبة من خلال رش شعاع من أيونات الغازات الخاملة. تم استخدام هذه الطريقة مؤخرًا لتحضير الجسيمات النانوية من عدة معادن باستخدام ترسيب بالرش المهبطي للأهداف المعدنية. في هذه الطريقة يتم تشكيل حزم موازية للجسيمات النانوية ويتم ترسيب الأغشية ذات البنية النانوية الكتلية على ركائز السيليكون. يتم تنفيذ العملية برمتها عند ضغوط منخفضة نسبيًا (1 مللي تور). يتم ترسيب الرشاشات في غرفة تفريغ مفرغة حيث يتم إدخال غاز الرش والحفاظ على ضغط العمل (على سبيل المثال. 0.05 و0.1 ملي بار). يتم إدخال جهد عالي جدًا في الهدف (الكاثود) ويتم نقل الإلكترونات الحرة في مسار حلزوني باستخدام نظام مغناطيسي حيث تتصادم مع ذرات الغاز المتطاير (الأرجون) وتؤدي إلى تأين الغاز. تنتج هذه العملية المستمرة تفريغ توهج (بلازما) للاشتعال. تنجذب أيونات الغاز موجبة الشحنة نحو الهدف حيث تصطدم باستمرار. يتكرر هذا الحدث ويقترب من سطح الهدف بطاقة أعلى من طاقة ربط السطح، يمكن طرد الذرة. تحدث الاصطدامات بين ذرات المعادن وجزيئات الغاز بشكل مستمر في غرفة التفريغ مما يؤدي إلى تشتت الذرات لتشكيل سحابة منتشرة.




**الشكل (6.2) يوضح الاختراق الايوني**

**مزايا**

1- لا يتم تغيير تركيبة المادة المرشوشة وتبقى كما هي في المادة المستهدفة.

2- طريقة اختيار المعادن المقاومة للصهر والمركبات بين المعادن أكثر من الطرق الأخرى مثل التبخير والاستئصال بالليزر.

3- طريقة اقتصادية حيث أن معدات الرش أقل تكلفة من أنظمة الطباعة الحجرية بالحزمة الإلكترونية.

4- يتم إنتاج شوائب أقل من تلك الناتجة عن الطرق الكيميائية.

5- يمكن إنتاج الجسيمات النانوية المصنوعة من السبائك مع سهولة التحكم في التركيب مقارنة بطرق الاختزال الكيميائي الأخرى.

6- هذه الطريقة هي تقنية متعددة الاستخدامات لتجميع الجسيمات النانوية الأيونية ذات الأحجام والتركيبات الواسعة التي لا يمكن الحصول عليها في المحلول.

7- يعطي الترسيب البطيء للأيونات الثقيلة أو الأيونات المنتقاة الكتلي تحكمًا لا مثيل له في معاملات مختلفة مثل الحجم والتركيب وشحن الأيونات المترسبة على الأسطح.

**سلبيات**

1- يمكن أن ينتج عن طبيعة الغاز المتطاير (He، Ne، Ar، Kr، Xe)

2- تأثير على شكل السطح والتركيب والملمس والخصائص البصرية لأغشية أكسيد الفلز البلوري النانوي.

**التطبيقات**

1- توليف مجموعة متنوعة من المواد النانوية على السطح والتي تستخدم في عملية التحفيز، والخلايا الكهروضوئية، والمغناطيسية، والذاكرة، وتفاعلات الأسطح العنقودية، والطلاءات الكارهة للماء، و "البوابات النانوية" لتخزين الهيدروجين.

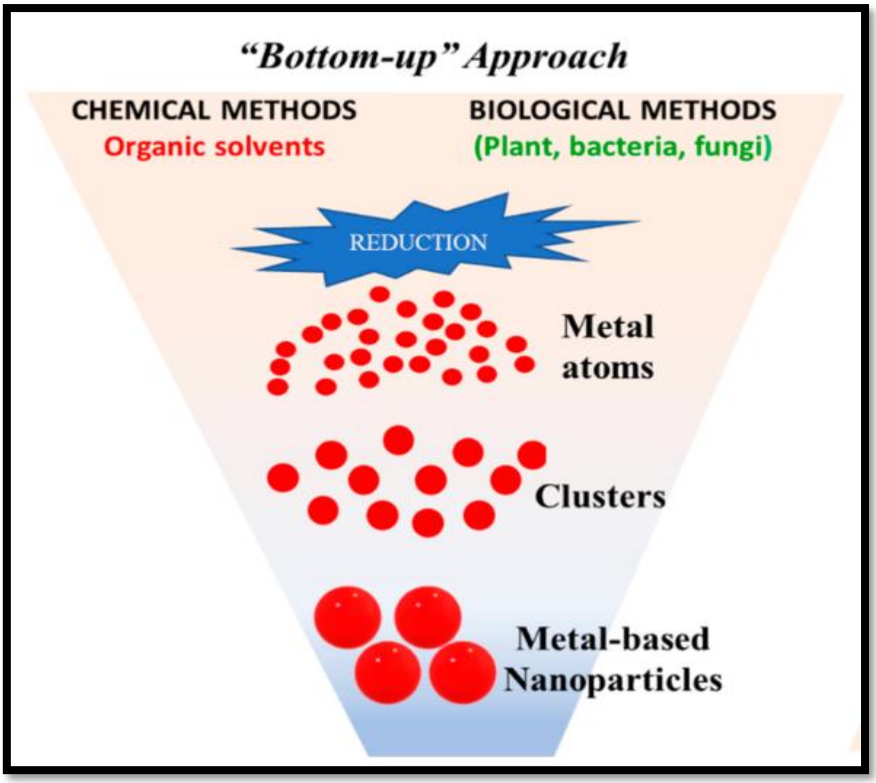
2- لتحضير Ag – Si والجسيمات النانوية Pd-core MgO-shell المستقرة للتفاعل التحفيزي لأكسدة الميثانول.

3- يمكن بسهولة وضع الأيونات الثقيلة والمعقدة مثل الببتيدات والبروتينات وتجمعات البروتين والمركبات العضوية المعدنية والعناقيد المعدنية والجسيمات النانوية على الركائز دون تغيير خصائصها الأساسية.

4- تسمح هذه الطريقة بترسيب الجزيئات الكبيرة مثل الأنواع الكبيرة غير المتطايرة التي يصعب ترسيبها بواسطة تقنيات ترسيب الطبقة الذرية والجزيئية التقليدية.

## 2.2.2 طريقة من الأسفل إلى الأعلى Bottom-up method

في البناء من الأسفل إلى الأعلى، تتجمع العديد من الجزيئات ذاتيًا في خطوات متوازية، كدالة في خصائص التعرف الجزيئي، وتنتج هذه المعالجة هياكل أكثر تعقيدًا من الذرات أو الجزيئات، كما تنتج هذه الطريقة تحكمًا موحدًا في الأحجام والأشكال ويتراوح حجم المواد النانوية الشكل (7.2). عادةً ما تستخدم هذه الطريقة لتحضير معظم المواد النانوية (1-100 نانومتر)، فهي تؤدي دوراً أساسيًا في إنتاج الهياكل النانوية والمواد النانوية. أيضًا ، هناك بعض الطرائق الأخرى لإنتاج المواد النانوية مثل التآكل والانحلال الحراري والتكوين البيولوجي للجسيمات النانوية [68] .

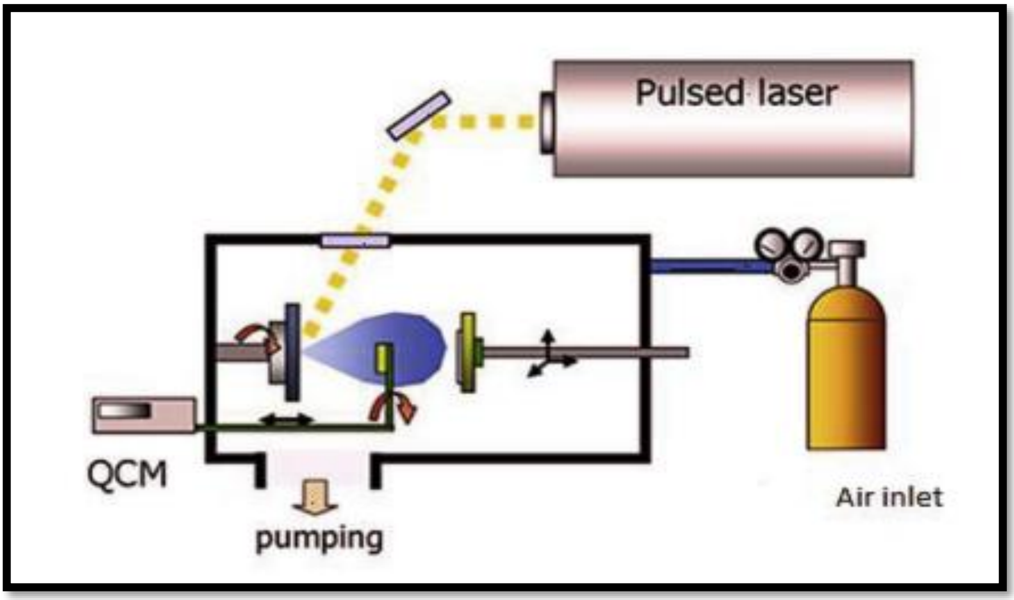



**الشكل(7.2) : يتم تصنيع هياكل جزيئات النانو بواسطة إجراءات كيميائية من الاسفل الى الاعلى**
[71]

## 1.2.2.2 طرق الحالة الصلبة Solid State Methods

### 1.1.2.2.2 طريقة ترسيب البخار الفيزيائي.

في طريقة الترسيب الفيزيائي، تترسب المادة على السطح إما كغشاء رقيق أو كجسيمات نانوية. تؤدي تقنية التفريغ عالية التحكم مثل التبخر الحراري والترسب المتطاير إلى تبخير المادة، والتي تتكثف أكثر على الركيزة. تُستخدم تقنيات ترسيب البخار الفيزيائي مثل ترسيب البخار النبضي بشكل عام لإعداد غشاء رقيق من اللانثانوم السترونتيوم الكوبالت. بالنسبة لترسب الليزر النبضي، يتم استخدام الاستئصال بالليزر على الهدف الصلب الذي يتسبب في تكوين بلازما من الأنواع المستأصلة، علاوة على ذلك، يتم ترسيب هذه الأنواع المستأصلة على ركيزة لإنتاج فيلم (الشكل 8.2). تُستخدم هذه الطريقة على نطاق واسع في ترسيب الجسيمات النانوية المعدنية والأغشية الرقيقة على الأنابيب النانوية الكربونية.




**الشكل (8.2) ترسيب الليزر النبضي للأنواع المستأصلة**

**مزايا**

1-طريقة بسيطة لتشكيل الأغشية المعدنية الرقيقة.

**العيوب**

1-طريقة مكلفة. 2-يولد حجمًا منخفضًا من المواد.

3- من أجل التنفيذ الناجح لهذه الطريقة، فإن الإنتاجية العالية بتكلفة أقل ضرورية على المستوى الصناعي

**التطبيقات**

1- تحضير غشاء رقيق لسيلينيدات التنجستن.

2- تحضير جزيئات البلاتين - الروثينيوم (Pt-Ru) النانوية.

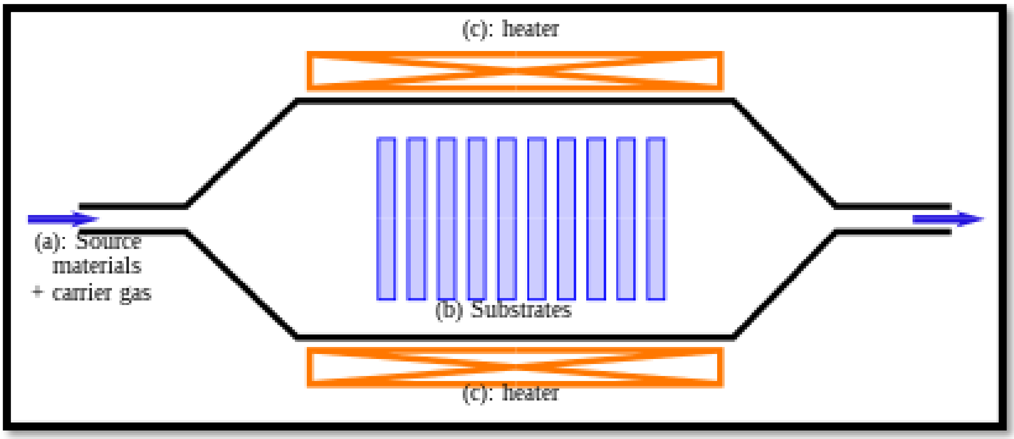
3- تكوين الزركونيا المستقرة من اليتريا.[53]

4- تُستخدم هذه الطريقة في تكوين أكثر الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة كفاءة، وهي الأغشية الرقيقة In Cu، Ga Se2 باستخدام ترسيب الليزر النبضي (PLD). يُظهر ترسيب الليزر النبضي (Fs-PLD) المشتق من النحاس سيلينيد الإنديوم الغاليوم (CIGS) انعكاسًا بارزًا مضادًا للانعكاس وبنية بلورية ممتازة.

## 2.1.2.2.2 طريقة ترسيب البخار الكيميائي (البخار الكيميائي)

## Chemical vapor deposition method (chemical vapor)

تم الإبلاغ عن الترسب لأول مرة وحصوله على براءة اختراع في أواخر القرن التاسع عشر واستخدم في تحضير ألياف الكربون كخيوط ومسحوق الكربون لصبغة اللون في المصباح الكهربائي. في طريقة الترسيب هذه، يتم ترسيب غشاء رقيق من المادة المستهدفة على سطح من خلال التفاعل الكيميائي لجزيء غازي يحتوي على ذرات مفيدة لتشكيل الغشاء. يتم إطلاق المادة المستهدفة في شكل جزيء متطاير وتعمل كسلعة ثم تحدث سلسلة من التفاعلات الكيميائية بين جزء السلائف والسلف وسطح الركيزة لإنتاج غشاء رقيق. تنتج الأغشية الرقيقة المترسبة للطبقة الذرية (ALD) بشكل عام عن طريق التفاعل الكيميائي السطحي في هذه الطريقة ويمكن تحقيق ترسيب المادة المستهدفة من خلال: 1) ترسيب البخار الكيميائي النشط حرارياً (TACVD) 2) ترسيب البخار الكيميائي المحسن بالبلازما (PECVD) و 3) بدأت الصورة في ترسيب البخار الكيميائي (PICVD). ترسيب البخار الكيميائي المنشط حرارياً غير مناسب للركائز الحساسة لدرجات الحرارة مثل البوليمرات. تقنية ترسيب البخار الكيميائي المحسن بالبلازما لها مشكلة في التوسع بسبب متطلبات التشغيل المحددة. تتضمن الطرق التي تم بدؤها بالصور كصورة بدأت في ترسيب البخار الكيميائي معالجة منخفضة الطاقة وطيفًا واسعًا من التباين المحتمل. بالإضافة إلى ذلك، لا تتطلب العملية التي تبدأ بالصور معدات متخصصة في ظروف الضغط ودرجة الحرارة المحيطة. لتفاعل الغازات. يستخدم تردد الراديو (تردد التيار المتردد) الموجات الدقيقة والاقتران الاستقرائي (التيار الكهربائي) التيار الكهربائي المستحث الكهرومغناطيسي أيضًا في هذه التقنية. يمكن أن تكون فعالة نسبيًا في درجات حرارة منخفضة لذا فهي مفيدة للتطبيق الصناعي على نطاق واسع وفي تصنيع الهياكل النانوية للجرافين والأنابيب النانوية.




**الشكل (9.2) طريقة ترسيب البخار الكيميائي**

**مزايا**

1- يمكن التحكم في خصائص الجسيمات للبنى النانوية مثل التشكل السطحي والبنية البلورية. 2- تُظهر طريقة الطلاء بالبخار الكيميائي متانة عالية للفيلم 3- هذه الطريقة سهلة التوسع. 4-ينتج جسيمات نانوية من التحكم في تشكيل السطح.

**سلبيات**

1- فرص المخاطر الكيميائية بسبب الغازات السامة، المسببة للتآكل، والمتفجرة 2- يصعب ترسيب المواد متعددة المكونات.

**التطبيقات**

1- الطريقة المفضلة لإعداد مادة $SnO_2$ nanorod الحساسة للغاز باستخدام ترسيب البخار الكيميائي بمساعدة الهباء الجوي.

2- تحضير مسحوق زركونيا الألومينا النانوي.

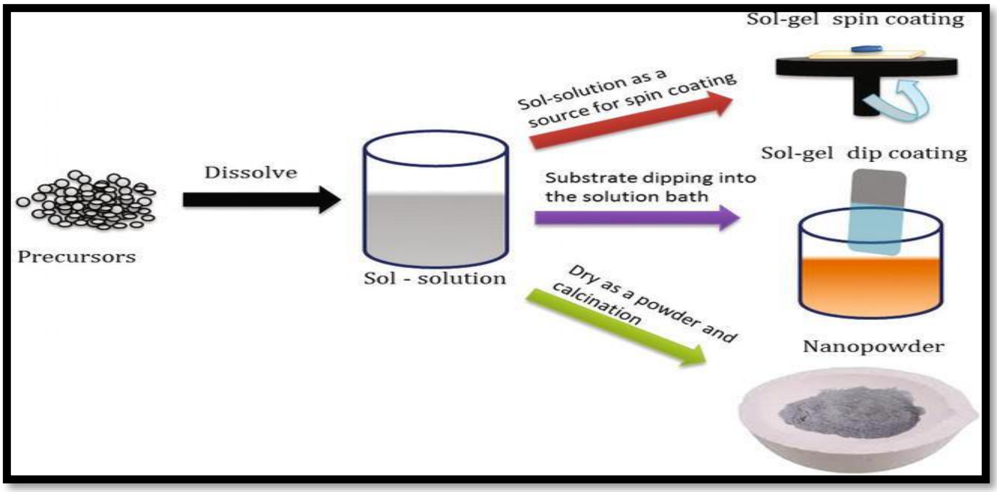
3- يتم إجراء ترسيب البخار الكيميائي لمساحة كبيرة من الجرافين أحادي الطبقة على معدن مثل النحاس باستخدام هذه التقنية ولها تطبيقات صناعية واسعة.

## 2.2.2.2 طرق تركيب الحالة السائلة

## Liquid state composition methods

### 1.2.2.2.2 طريقة سول جل Sol gel method

في عام (1988) قام ليفاج وآخرون بمراجعة هذه التقنية لأول مرة على كيمياء هلام محلول غرواني لأكاسيد الفلزات الانتقالية. تتضمن طريقة جل سول لتخليق الجسيمات النانوية إما عن طريق (أ) خلط معدن الغرويات المشكل مسبقًا (أكسيد) مع محلول غرواني يحتوي على أنواع تكوين المصفوفة متبوعًا بتكوين الهلام، (ب) الخلط المباشر لأكسيد المعادن والمعدن أو الجسيمات النانوية داخل محلول السيليكا المتحلل مسبقًا. ج) تعقيد المعدن بالسيلون واختزال المعدن قبل التحلل المائي. في هذه الطريقة، يتم إدخال تكوين شبكة باستخدام التعليق الغرواني (sol) والجيلاتين لتشكيل شبكة في الطور السائل المستمر (هلام). تستخدم أيونات ألكوكسيدات الفلزات والأوكسيسيلان كمقدمة لتخليق الغرويات. يتم استخدام رباعي ميثوكسيسيلاني (TMS) ورباعي إيثوكسيسيلاني بشكل شائع الذي يشكل هلام السيليكا. ألكوكسيدات المعادن عبارة عن سلائف عضوية معدنية لمعادن مختلفة مثل السيليكا والألمنيوم والتيتانيوم والعديد من المعادن الأخرى ولا يمكن خلطها في الماء. يستخدم الكحول كمذيب متبادل. مبدئيًا في هذه الطريقة، يتم تحضير محلول متجانس لواحد أو أكثر من الألكوكسيدات المختارة ويتم إضافة محفز لبدء التفاعل عند درجة حموضة مضبوطة. يتضمن تكوين سول-جل أربع خطوات رئيسية؛ التحلل المائي والتكثيف ونمو الجسيمات وتكتل الجسيمات. في الترسيب المباشر لتقنية أكسيد الفلز أو المعدن، تترسب جسيمات أكسيد الفلز من محلول السيليكا عادة عن طريق المعالجة الحرارية عند درجة حرارة منخفضة. يتم تحضير الأغشية الرقيقة بشكل أساسي باستخدام هذه التقنية.[72]




**الشكل (10.2) مخطط لتكوين السول جل**

**مزايا**

1- أبسط طريقة.

2- يمكن التحكم في حجم الجسيمات وتشكلها عن طريق المراقبة المنتظمة لبارامترات التفاعل.[72]

**التطبيقات**

1- يستخدم في تصنيع الهياكل النانوية لبيروكسيد الزنك($ZnO_2$)

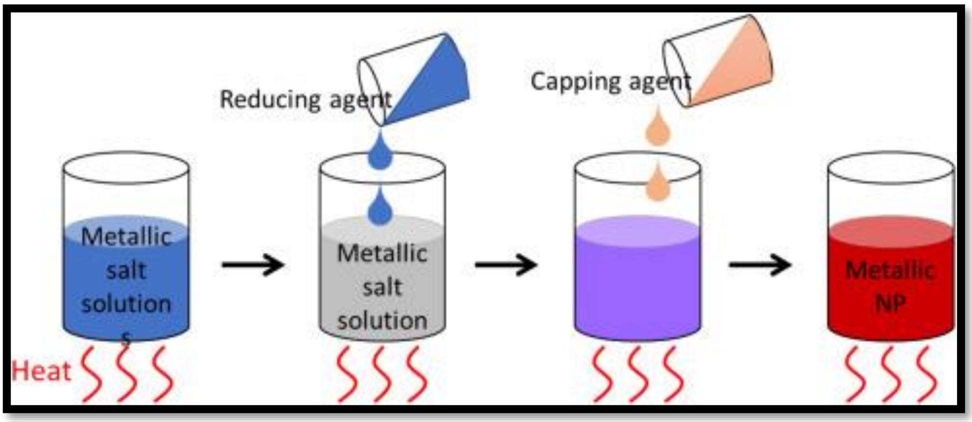
2- تحضير الجسيمات النانوية $NiO_2$

3- تشكيل الأغشية المعدنية الرقيقة.

## 2.2.2.2.2 طريقة الاختزال الكيميائي Chemical reduction method

في طريقة الاختزال الكيميائي، يتم تقليل الملح الأيوني في وسط مناسب في وجود الفاعل بالسطح باستخدام عوامل اختزال مختلفة. يستخدم عامل الاختزال مثل بوروهيدريد الصوديوم في محلول مائي لتحضير الجسيمات النانوية المعدنية. يتم تغطية الجسيمات النانوية المعدنية المشكلة باستخدام سترات الصوديوم (TSC) أو كبريتات لوريل الصوديوم (SLS). في بعض الأحيان يتم استخدام عامل الاستقرار مع عامل الاختزال. تمت مراقبة

استقرار الجسيمات النانوية المعدنية في المشتت من خلال تحليل الامتصاص. تستخدم عوامل الاختزال مثل بوروهيدرات الصوديوم ($NaBH_4$) والجلوكوز والإيثيلين جلايكول والإيثانول وسيترات الصوديوم وهيدرات الهيدرازين وما إلى ذلك في تصنيع جسيمات الفضة النانوية.




**الشكل (11.2) شكل توضيحي طريقة الاختزال الكيميائي**

**مزايا**

- أبسط طريقة لتحضير الجسيمات النانوية المعدنية.

**سلبيات**

1- العديد من القيود المرتبطة بخفض العوامل مثل السمية، والتكلفة الباهظة.

2-ضعف القدرة على التخفيض، وارتفاع التكاليف، والشوائب.

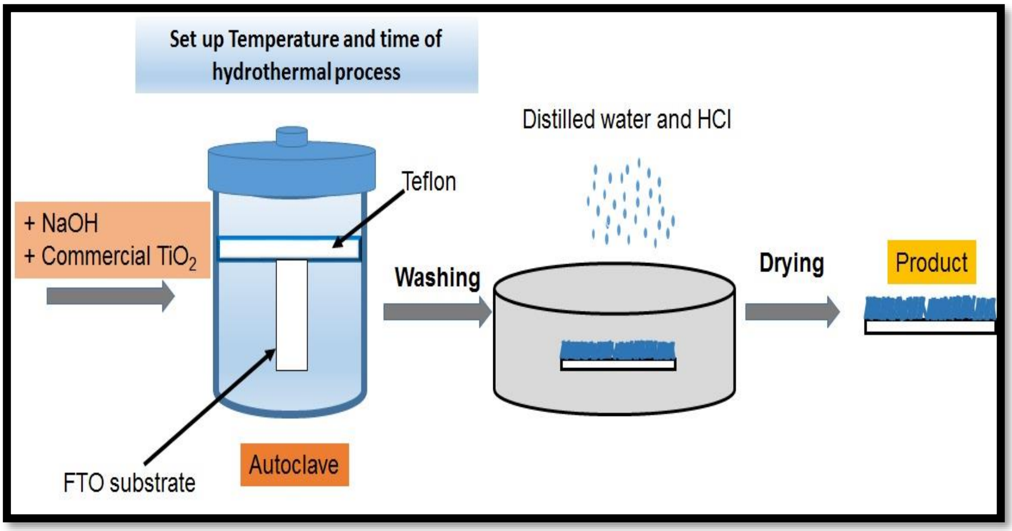
**التطبيقات**

-تحضير جسيمات النحاس النانوية باستخدام بوروهيدرات البوتاسيوم كعامل مختزل.

## 3.2.2.2.2 الطريقة المائية الحرارية Hydrothermal method

تعتمد الطريقة المائية الحرارية على تفاعل أبخرة المحاليل المائية مع مادة صلبة عند ضغط ودرجة حرارة مرتفعين، وتؤدي إلى ترسب جزيئات صغيرة. في هذه الطريقة، تترسب الكاتيون في شكل هيدروكسيد بوليمري، وتصبح هذه الهيدروكسيدات كذلك مجففة وتسريع تكوين هيكل بلوري أكسيد معدني. يعتبر الكاتيون المعدني الثاني المتكون مفيدًا للتحكم في

عملية تكوين الجسيمات عن طريق منع تكوين هيدروكسيد معقد عند إضافة القاعدة إلى محلول الملح المعدني.




**الشكل (12.2) يوضح الطريقة المائية الحرارية**

**مزايا**

1- يمكن تحضير الجسيمات النانوية بالحجم والشكل المطلوب. 2- يمكن تكوين مسحوق متبلور جيداً.

3- إنتاج بلورات نانوية عالية التبلور.

**العيوب**

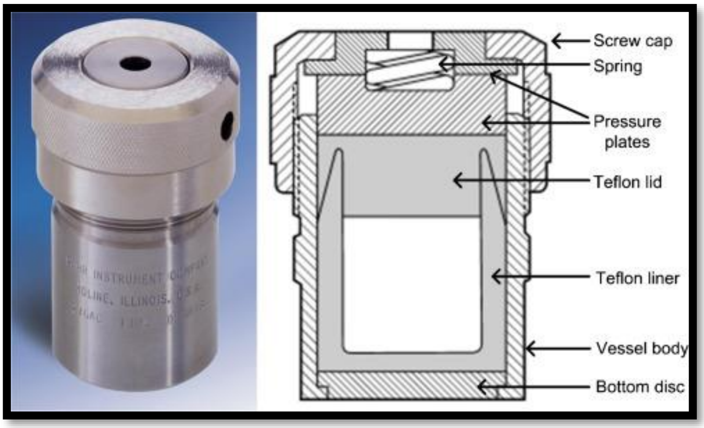
1- العمليات يصعب السيطرة عليها. 2- حدود الموثوقية والتكاثر.

**التطبيقات**

-طريقة مناسبة لتحضير المساحيق على شكل جسيمات نانوية أو حتى في بلورة مفردة.

## 4.2.2.2.2 طريقة ذوبان الحرارية Thermal solvent method

تستخدم طريقة Solvothermal لتحضير الطور النانوي في وجود الماء أو المواد الكيميائية العضوية الأخرى مثل الميثانول والإيثانول والبوليول كمذيب. ينتج التفاعل في وعاء ضغط يسمح للمذيبات (الماء والكحول) بالتسخين فوق درجة حرارة نقطة الغليان. يمكن زيادة حركية التبلور (تكوين البلورات) بمقدار واحد أو اثنين من حيث الحجم عن طريق استخدام تفاعلات بمساعدة الميكروويف (ميكروويف مذيب حراري).




**الشكل (13.2) يوضح طريقة ذوبان الحرارية**

**مزايا**

1-تحضير بلورات نانوية أحادية متبلورة عالية الجودة.

2-هذه الطريقة مفضلة أكثر لإعداد التوزيع الضيق الحجم لدرجة عالية من تبلور البلورات النانوية على تسخين حمام الزيت التقليدي.

**التطبيقات**

1- تخليق جسيمات الفضة النانوية.

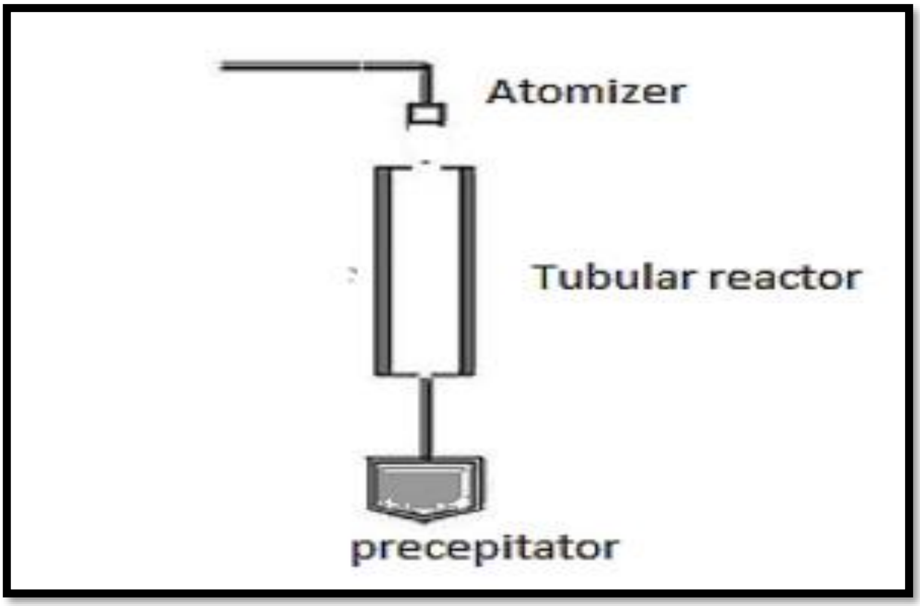
2- التوليف السريع للبنى النانوية من Pt و Pd و Ag و Au باستخدام البولي إيثيلين جلايكول أو الميثانول كعامل اختزال تحت ظروف مساعدة الميكروويف.

3- تطبيق واسع لإعداد بلورات نانوية متبلورة أحادية التشتت عالية الجودة من النتريت وأكسيد الفلز ومواد أشباه الموصلات الجديدة.

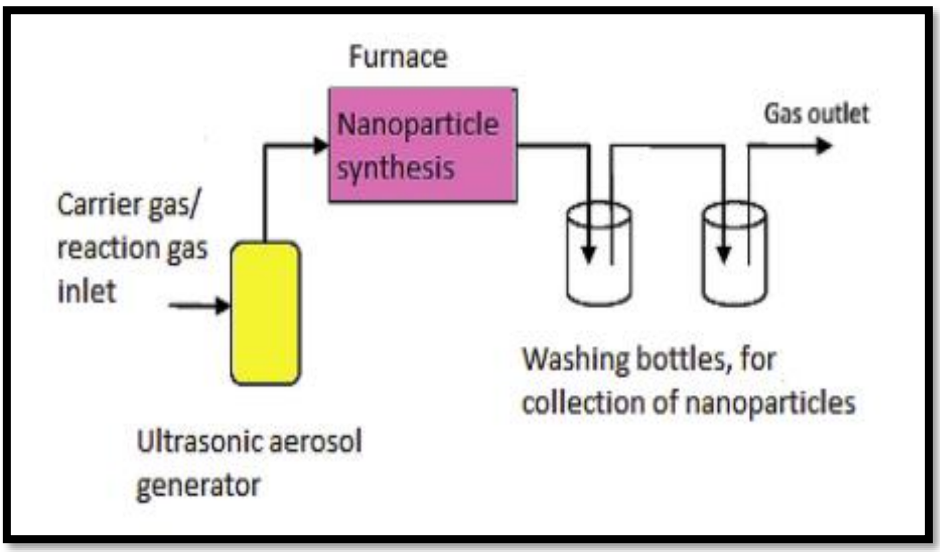
## 3.2.2.2 طرق الطور الغازي Gas Phase Methods

### 1.3.2.2.2 رذاذ الانحلال الحراري Spray pyrolysis

في طريقة الانحلال الحراري بالرش، يتم تسليم سلائف الجسيمات النانوية في شكل بخار إلى المفاعل الساخن. لإيصال المادة الأولية، يتم استخدام البخاخات التي تنقل المادة الأولية مباشرة في شكل قطرات صغيرة دقيقة في المفاعل الساخن. تستخدم المعادن مثل الأسيتات والنترات والكلوريد عادة كسلائف معدنية. يتكون الجهاز (الشكل 14.2) المستخدم في تحضير الجسيمات النانوية بطريقة الانحلال الحراري بالرش من ثلاثة أجزاء رئيسية: 1) جهاز استنشاق سائل لترذيذ محلول المواد الاساسية المعدنية 2) مفاعل أنبوبي عمودي متحكم به حراريًا (200 درجة مئوية إلى 1200 درجة مئوية) 3) مرسب لتجميع الجسيمات النانوية. يمكن تعديل الجهاز باستخدام تقنيات ذرية مثل فوهة سائلين أو مضخات أو مرشات تعمل بالهواء (تعمل بالهواء المضغوط) وصوت فوق صوتي وفتحة اهتزازية وقرص دوار. يعد الانحلال الحراري بالرش بالموجات فوق الصوتية (الشكل 15.2) طريقة محسّنة حيث يتم استخدام الموجات فوق الصوتية لإنتاج قصيرة متناثرة من محلول السلائف ويتم نقل قطرات الهباء الجوي المتكونة من المرذاذ إلى فرن المفاعل بواسطة الغاز الحامل لتكوين الجسيمات النانوية التي يتم جمعها لاحقًا عن طريق التجميع النظام. يتم تحويل محلول السلائف المخفف بشدة إلى قطرة ضباب صغيرة بحجم 1-10 ميكرومتر ، والتي تعتمد على تكرار الموجات فوق الصوتية وخصائص المحلول.




**الشكل (14.2) رش جهاز الانحلال الحراري لتحضير الجسيمات النانوية**




**الشكل (15.2) تقنية الانحلال الحراري بالرش بالموجات فوق الصوتية لإعداد الجسيمات النانوية.**

**مزايا**

1- طريقة بسيطة نسبيا.

2- طريقة التكلفة المنخفضة

3- يمكن التحكم في حجم الجسيمات وإعادة إنتاجها.

**التطبيقات**

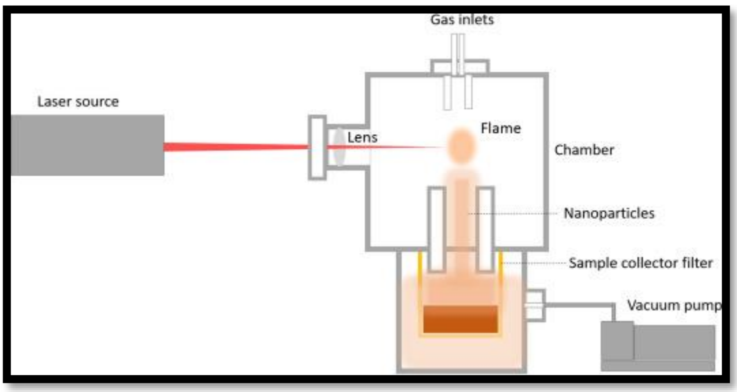
-تخليق أكسيد النانو فلز وأكسيد فلز مختلط.

-تخليق الجسيمات النانوية Zno باستخدام أسيتات الزنك كسلائف معدنية.

-تحضير الجسيمات النانوية.Tio2

## 2.3.2.2.2 الانحلال الحراري بالليزر Laser Pyrolysis

تتضمن تقنية الانحلال الحراري بالليزر استخدام طاقة الليزر لتحضير الجسيمات النانوية. في هذه الطريقة، يُسمح للمواد الاولية بامتصاص طاقة الليزر للحث على تفاعلات نواة متجانسة. هذا مسؤول عن التسخين والتبريد الموضعي للغاية مقارنة بتسخين الغاز في الفرن. إن طاقة الليزر الأكثر استخدامًا للتسخين هي ليزر ثاني أكسيد الكربون بالأشعة تحت الحمراء الذي يتم امتصاص طاقته بواسطة سداسي فلوريد الكبريت، وهو محسس ضوئي خامل. يبدأ تكوين الجسيمات النانوية في الانحلال الحراري لثاني أكسيد الكربون فور الوصول إلى درجة كافية من التشبع الفائق للمنتج القابل للتكثيف في طور البخار.




**الشكل (16.2) يوضح الانحلال الحراري بالليزر**

**مزايا**

1- إنها تقنية يمكن أن تكون نظيفة، والتي تشكل جزيئات ذات توزيع موحد ويمكن التحكم فيه.

2- يمكن التحكم في حجم الجسيمات عن طريق تعديل معدل تدفق المواد الكيميائية عبر منطقة تفاعل الانحلال الحراري.

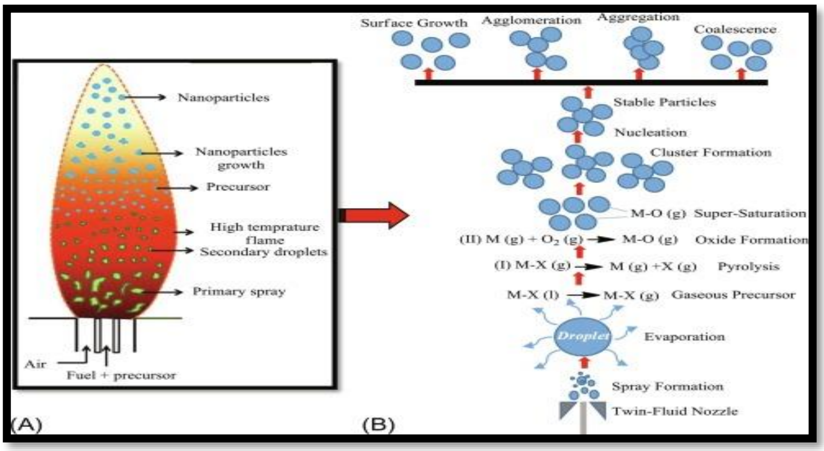
3- إنها أبسط طريقة لإنتاج كمية كبيرة من الهياكل النانوية حتى في أبعاد المصنع التجريبي من خلال موازنة التعرض بليزر ثاني أكسيد الكربون والتدفق المستمر للمفاعل.

**التطبيقات**

1- طريقة مناسبة لتطوير إنتاج الجزيئات النانوية TiO2 و $SiO_2$ و $Al_2O_3$

## 3.3.2.2.2 الانحلال الحراري باللهب Flame pyrolysis

يعتبر تكوين الهياكل النانوية عن طريق الرش المباشر للسلائف السائلة في اللهب هو مبدأ العمل في طريقة الانحلال الحراري للهب. تسمح هذه الطريقة بإيصال السلائف، التي لا تحتوي على ضغط بخار مرتفع بدرجة كافية على شكل بخار الغازات (تخليق لهب الهباء الجوي)، السائل الانحلال الحراري بالرش المضاد للهب FASP: والانحلال الحراري بالرش باللهب(FSP) أو السلائف الصلبة يتعرضون للهب ويسمح لهم بتكوين جزيئات نانوية.




**الشكل (17.2) توضيح الانحلال الحراري باللهب**

**مزايا**

1-هذه طريقة بديلة واعدة لإنتاج الطور الغازي لجسيمات أكسيد الفلز النانوية.

2- الطريقة الأكثر فعالية للمواد الخام الأقل تطايرًا.

3-قد يكون توصيل السلائف السائلة مباشرة إلى اللهب هو الطريق الأكثر فعالية حيث يمكن إذابة العديد من المواد الخام الأقل تطايرًا في المذيبات العضوية أو حتى في الماء، مما يسمح بمناولة السلائف السائلة البسيطة نسبيًا وتحديد الجرعات.

**التطبيقات**

1- تحضير جزيئات أكسيد الزنك النانوية.

2- تخليق جسيمات السيليكا من سداسي ميثيل ديسيلوكسان.

## 4.2.2.2 الطريقة البيولوجية Biological Method

اولا: طريقة المحاكاة الحيوية / طريقة التوليف الخضراء يعد تحضير الجسيمات النانوية باستخدام طرق التوليف الخضراء اتجاهًا ناشئًا في مجال تكنولوجيا النانو. ظهرت هذه التقنيات للتغلب على مشاكل مثل مضاعفات التفاعل والتكلفة العالية ومسألة السلامة للطرق التقليدية. تضمنت مناهج الكيمياء الخضراء تقنيات جديدة في عمليات التوليف والتطبيقات العديدة للمواد الكيميائية لتقليل التهديد على الصحة والبيئة. تشمل هذه الأساليب بشكل رئيسي؛ 1) الكيمياء النظيفة، 2) الاقتصاد الذري، 3) الكيمياء الحميدة بيئيًا، 4) الكيمياء الحميدة بالتصميم. تتضمن الطرق البيولوجية لتحضير الجسيمات النانوية استخدام الكائنات الحية الدقيقة المختلفة وإنزيماتها، والمنتجات النباتية مثل العازلات والمستخلصات. تتمتع هذه التقنيات بعدد من المزايا مقارنة بالطرق الفيزيائية والكيميائية الأخرى لأنها طريقة فعالة من حيث التكلفة وصديقة للبيئة ويمكن توسيع نطاقها بسهولة للإنتاج على نطاق واسع. بالإضافة إلى ذلك، لا يتضمن التخليق الأخضر استخدام الضغط العالي والطاقة ودرجة الحرارة والمواد الكيميائية السامة. يتم تقسيم تخليق الجسيمات النانوية المعدنية الحيوية الطبيعية إلى فئتين. شكل مستقر بيولوجيا باستخدام الكائنات الحية الدقيقة وإنزيماتها. الهياكل النانوية المعدنية المتكونة مستقرة وخاملة بطبيعتها ويمكن فصلها بأمان عن العينة الملوثة. ثانيا: الامتصاص الحيوي: هذه طريقة فريدة من نوعها لتخليق الجسيمات النانوية حيث يُسمح للكاتيونات المعدنية في الوسط المائي بالارتباط بجدار خلية الكائن الحي مما يؤدي أيضًا إلى تكوين جسيمات نانوية مستقرة بسبب جدار الخلية أو تفاعل الببتيد.

## 5.2.2.2 تخليق الجسيمات النانوية باستخدام البكتيريا
## Synthesis of Nanoparticles Using Bacteria

الاهتمام بالتنفيذ المناسب للموارد التي تحدث بشكل طبيعي مثل الكائنات الحية الدقيقة لتخليق الجسيمات النانوية يتزايد باستمرار في جميع أنحاء العالم. اكتسبت بدائيات النوى الانتباه كوسيلة لتخليق الجسيمات النانوية المعدنية بسبب وفرتها في البيئة وقدرتها على تبني الظروف القاسية. تتمتع البكتيريا بمزايا معينة مثل الضرب السريع وسهولة الزراعة والتلاعب. يمكن التحكم في النمو من خلال التحكم في ظروف مثل الأوكسجين ودرجة الحرارة ووقت الحضانة. هو وآخرون. (2007) اقترح أن تغيير الرقم الهيدروجيني لوسط النمو أثناء الحضانة ينتج جسيمات نانوية ذات أحجام وأشكال مختلفة. يتم سرد بعض أمثلة البكتيريا المستخدمة في تخليق الجسيمات النانوية في الجدول (1.2).

Examples of bacteria along with cellular locations used for nanoparticle preparation.

| Sr. No. | Microorganisms | Nanoparticles | Cellular location of synthesis |
|---|---|---|---|
| 1 | *Aspergillus terreus* | Lead selenide (20–50 nm) | Extracellular |
| 2 | *Rhodococcus* species | Au | Intracellular reduction |
| 3 | *E. coli* | Cd telluride (2–3 nm) | Extracellular |
| 4 | *Saccharomyces cerevisiae* | Cd telluride | Extracellular |
| 5 | *E. coli* | Pd, Pt, Ag | Extracellular reduction |
| 6 | *Loctobacillus* species | Ag | Extracellular biosorption and reduction |
| 7 | *Klebsiella pneumonias* | Ag | Bioreduction (Using nitro reductase enzyme) |
| 8 | *Enterobacter coacae* | Ag | Bioreduction (Using nitroreductase enzyme) |
| 9 | *Bacillus* species | Ag | Intracellular reduction |

**الجدول (1.2) البكتيريا المستخدمة في تخليق الجسيمات النانوية**

**مزايا**

-متوفر بكثرة ولديه القدرة على التكيف مع الظروف القاسية

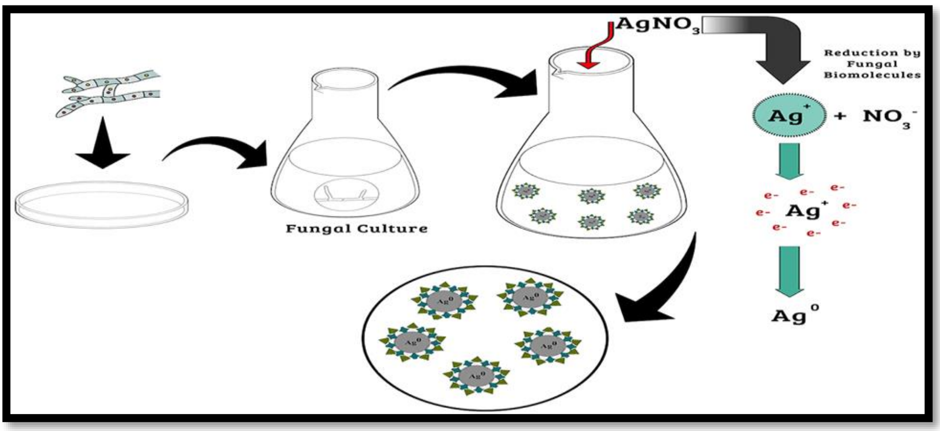
**العيوب**

-مخاطر السلامة.

## 6.2.2.2 تخليق الجسيمات النانوية باستخدام الفطريات

## Synthesis of nanoparticles using fungi

يعمل الإنزيم والبروتين اللذان تفرزهما الفطريات كعامل اختزال يمكن استخدامه لتخليق الجسيمات النانوية المعدنية من الملح المعدني. معدن مثل Ag لديه القدرة على الارتباط بالغشاء السيتوبلازمي بسبب التفاعل الكهروستاتيكي ويقل مما يشكل نوى الفضة ويؤدي في النهاية إلى تراكم نوى الفضة والجسيمات النانوية. يشيع استخدام الفطريات لتحضير الجسيمات النانوية مثل Fusarium oxysporum و Aspergillus fumigates و Trichoderma reeseiو Fusarium oxysporum أسرار بعض عوامل الاختزال التي تقلل من هذه الأيونات المعدنية. من الناحية العملية، فإن توليفات الجسيمات النانوية القائمة على الكائنات الحية الدقيقة ليست مجدية لأنها تتطلب صيانة حالة عالية التعقيم.




**الشكل (18.2) يوضح تخليق الجسيمات النانوية باستخدام الفطريات**

### مزايا

1- من السهل توسيع نطاق تخليق الجسيمات النانوية والمعالجة النهائية والمرونة الاقتصادية ومساحة السطح الكبيرة بسبب الفطريات.

2- الإنتاجية أكثر من البكتيريا حيث تفرز الفطريات كميات أكبر من البروتينات.

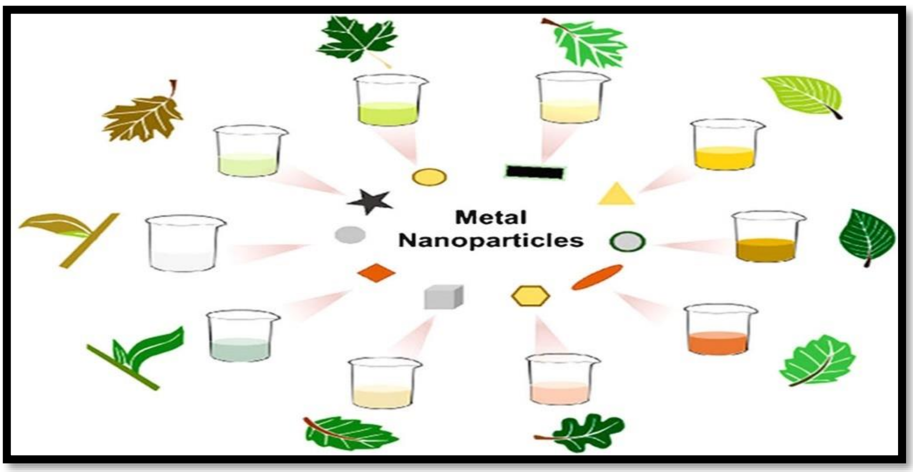
### العيوب

1- مخاطر السلامة. 2- الجسيمات النانوية المنتجة ذات أحجام متغيرة.

## 7.2.2.2 تصنيع الجسيمات النانوية باستخدام المنتجات النباتية والنباتية

## Manufacture of nanoparticles using plant and vegetable products

اكتسب تصنيع الجسيمات النانوية بوساطة النبات مؤخرًا اهتمامًا واسعًا في جميع أنحاء العالم. تستخدم العديد من المنتجات النباتية مثل المستخلصات لتحضير مجموعة متنوعة من الجسيمات النانوية المعدنية مثل الذهب والفضة والنحاس والزنك. المستخلصات الخام غنية بالمستقلبات الثانوية النباتية مثل حمض الفينول والفلافونويد والتربينويد والقلويد التي تقلل بشكل انتقائي الأيونات المعدنية وتؤدي إلى تكوين الجسيمات النانوية المعدنية. تشارك المستقلبات الأولية والثانوية للنبات باستمرار في تفاعلات الأكسدة والاختزال لمسارات التمثيل الغذائي للنبات. يتم استخدام هذه الخصائص كعامل اختزال وعامل تغطية وتؤدي إلى تخليق جسيمات نانوية صديقة للبيئة. نباتات مثل Brassica juncea و Ilex crenata و Sesbania drummondii و Clethra barbinervis و Acanthopanax scidophylloides لديها القدرة على إنتاج المعالجة الضوئية للمعادن الثقيلة. يشمل تخليق الجسيمات النانوية تنقية المستخلص البيولوجي من عامل الاختزال الحيوي وخلطه مع محلول مائي لمحلول السلائف المعدنية ذات الصلة بطريقة خاضعة للرقابة. تحدث العديد من التفاعلات العفوية في درجة حرارة الغرفة التي تنتج جزيئات نانوية. في بعض الأحيان تكون إضافة الكادميوم مع التقليب والتسخين ضرورية لتسريع عملية التوليف. تُفضل المستخلصات النباتية عمومًا لسهولة توفرها، وهي مناسبة للإنتاج بالجملة والمنتجات الثانوية أو منتجات النفايات المتكونة صديقة للبيئة.




**الشكل (19.2) يوضح تصنيع الجسيمات النانوية باستخدام المنتجات النباتية والنباتية**

**مزايا**

1-لا توجد إمراضية مثل الفطريات والبكتيريا.   2- يتم إنتاج جسيمات نانوية متجانسة إلى حد ما.

**سلبيات**

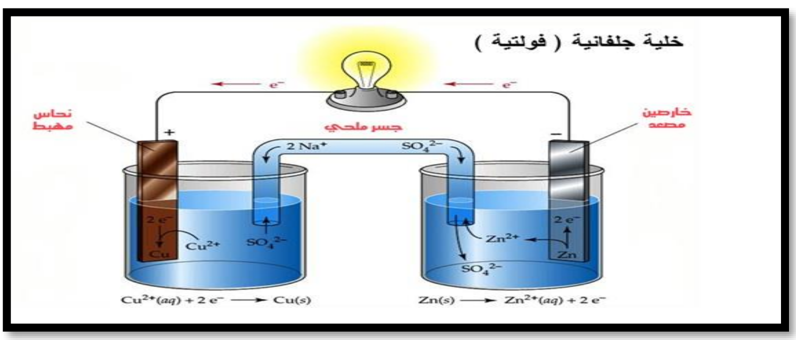
1- ظروف التدفئة مثل درجة الحرارة مطلوبة مما يزيد من تكلفة إنتاج الجسيمات النانوية.

## 3.2.2 طرق أخرى لتخليق الجسيمات النانوية

## Other methods for the synthesis of nanoparticles

### 1.3.2.2 الترسيب الكهروكيميائي Electrochemical precipitation

تُستخدم طرق مثل تركيب الترسيب الكهربائي أو تخليق القوالب لإنتاج المواد النانوية. تستخدم تقنية الحفر الأيوني في إنتاج أغشية الألومينا المسامية. بالإضافة إلى ذلك، لتصنيع هياكل أشباه الموصلات المسامية، يفضل استخدام طريقة الترسيب الكهروكيميائية مثل عمليات إذابة الأنود الكهروكيميائية. يتم تحضير الجسيمات النانوية المعدنية عن طريق الترسيب الكهروكيميائي (ED) باستخدام حمامات تحتوي على أملاح معدنية. الحمامات إما حمضية أو قاعدية وتستخدم ثلاثة أطراف قوية. في هذه التقنية، هناك حاجة إلى قطب كهربائي، والكاثود حيث يتم ترسيب الجسيمات النانوية المعدنية، في حين أن قطب كهربائي آخر و Ag \ AgCl أو calomel هو قطب مرجعي. يتم تطبيق جهد طفيف لوقت مناسب في حمام كهربائي يحتوي على ملح معدني. تستخدم هذه التقنية على نطاق واسع لأغراض مختلفة مثل قياس الجهد الدوري والنبض المزدوج وترسيب الخطوة المحتملة.




**الشكل (20.2) يوضح خلية كلفانية للترسيب الكهروكيميائي**

**مزايا**

1- طريقة بسيطة وسريعة وغير مكلفة.

2- طريقة فريدة لإنتاج جسيمات نانوية ذات حجم وتشكل متحكم فيهما.

3- الميزة الرئيسية هي أن الجسيمات النانوية تلتصق مباشرة بالركيزة

**التطبيقات**

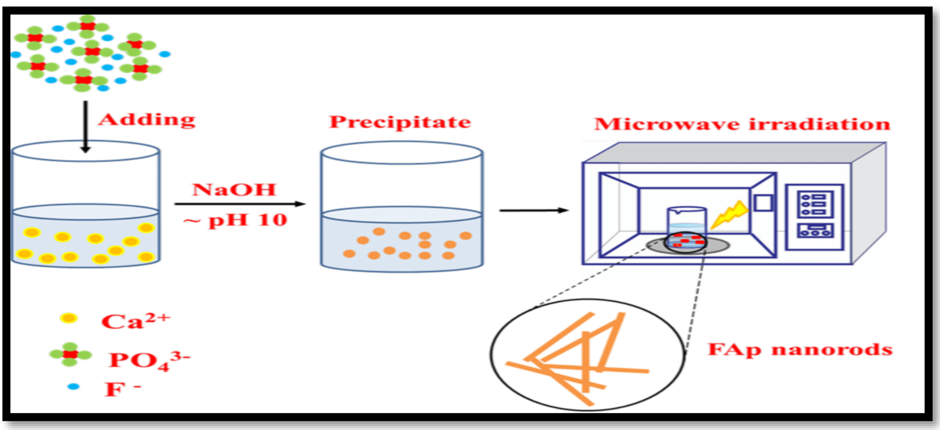
1- تخليق الجسيمات النانوية والأسلاك النانوية والقضبان النانوية.

2- إنتاج المواد النانوية مثل الأسلاك النانوية من Au و Co و Ni وPt .

## 2.3.2.2 تحضير الجسيمات النانوية بمساعدة الميكروويف

## Microwave-assisted preparation of nanoparticles

في الوقت الحاضر، تُفضل تقنيات الميكروويف على التسخين الحراري لجسيمات نانوية التحضير. يتم تطبيق تردد الميكروويف من 300 ميجاهرتز إلى 300 جيجاهرتز مما يؤدي إلى اتجاه الجزيء القطبي مثل $H_2O$ مع المجال الكهربائي. تؤدي إعادة توجيه الجزيئات ثنائية القطب مع مجال كهربائي متناوب إلى احتكاك جزيئي وفقدان للطاقة في شكل حرارة. تم تنفيذ هذه التقنية مؤخرًا بنجاح لتحضير جسيمات الفضة النانوية حيث يتم تشعيع محلول نترات الفضة بكربوكسي ميثيل كيتوزان ، والذي يعمل كعامل اختزال ومثبت .




**الشكل (21.2) يوضح تحضير الجسيمات النانوية بمساعدة الميكروويف**

**مزايا**

1- تقنية عالية الفعالية لتحضير الجسيمات النانوية.

2- تسخين حجمي بسيط وسريع وما يترتب على ذلك من زيادة كبيرة في معدل التفاعل.

3- يمكن أن يؤدي التسخين المتجانس طوال العملية إلى تسريع معدل التفاعل بأعداد كبيرة مقارنة بالتدفئة التقليدية.

**سلبيات**

1- وقت تبلور أقصر وتنوي متجانس بسبب الحرارة المنتظمة لفرن الميكروويف.

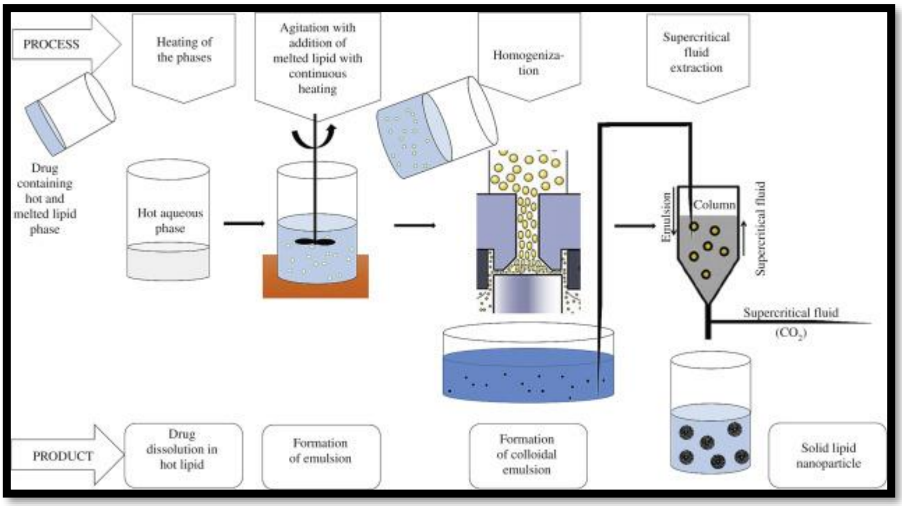
**التطبيقات**

1- تقنية مفيدة في مختلف مجالات الكيمياء وعلوم المواد.

2- يستخدم على نطاق واسع للعديد من المستخلصات النباتية لتحضير جزيئات المعادن النانوية المختلفة.

### 3.3.2.2 تكنولوجيا السوائل فوق الحرجة Supercritical fluid technology

تستخدم السوائل فوق الحرجة (SCFs) على نطاق واسع في العديد من مجالات العلوم الكيميائية والمواد. تتميز SCFs بخاصية مميزة يمكن تعديل خصائصها الفيزيائية والكيميائية بين الحالة الغازية والسائلة ببساطة عن طريق تغيير الضغط أو درجة الحرارة، مما يوفر فرصة لتغيير بيئة التفاعل مثل الكثافة أو اللزوجة أو الانتشار أو التوتر السطحي. تعد قدرة SCFs على التوسع السريع ميزة رئيسية، يتم استخدامها بشكل انتقائي لتخليق المساحيق الدقيقة مثل الجسيمات النانوية. تختلف العديد من الخصائص الفيزيائية لـ SCF باختلاف الكثافة. أكثر أنواع SCFs شيوعًا هي ثاني أكسيد الكربون ($scCO_2$) ، وأكسيد النيتروز ، والماء ، والميثانول ، والإيثانول ، و الإيثان ، والبروبان ، والهكسان ، والأمونيا. في هذه الطريقة، تتشكل الجسيمات النانوية غير المجمعة عن طريق طلاء الجسيمات النانوية بطبقة واقية ترتبط بأسطحها، وتطفئ نمو الجسيمات وتوفر حاجزًا للتجمع. يحدث تخليق البنية النانوية في مفاعل يحتوي على مضخات عالية الضغط ويتم ضغطه بصمام منظم للضغط العكسي. يتم حقن المادة الأولية المذابة في مذيبات مختلفة في المفاعل. يمكن استعادة المنتج المشكل (مادة متناهية الصغر) سواء كان كمواد مسحوق باستخدام مرشح جسيمات موضوع قبل صمام منظم الضغط العكسي أو في شكل تعليق عند مخرج العملية.




**الشكل (22.2) يوضح تكنولوجيا السوائل فوق الحرجة**

**مزايا**

1- التكلفة المنخفضة والطريقة السهلة

2- لا يلزم استخدام مذيبات عضوية باستخدام هذه الطريقة لتخليق جزيئات الحديد النانوية ويمكن التحكم بكفاءة في حجم الجسيمات.

3-لا تظهر الأفلام المكونة باستخدام SCFs تأثيرات الحبس الكمومي.

4- تركيب سريع للمواد النانوية (عشرات من الثانية) مقارنة بالطرق التقليدية.

5- يمكن استخدام ثاني أكسيد الكربون أو الماء كسائل فوق الحرج، وهو بديل لمذيب عضوي.

**سلبيات**

1- تتطلب درجة حرارة عالية وضغطًا حرجًا لإعداد الجسيمات النانوية.

**التطبيقات**

1-لتخليق البلورات المفردة المسامية والأنابيب النانوية غير المنتظمة الممدودة.

2- تخليق المعادن والمواد النانوية شبه الموصلة.

3- تخليق جزيئات أكسيد الفلز النانوية.

4- إنها تقنية متعددة الاستخدامات لتركيب مجموعة من الجسيمات النانوية المعدنية Cu ، Ag، Pt، Pd)، أكاسيد ZrO2 ، CeO2 ، Fe2O3 ، Cu2O، Cr2O3 ، Al2O3 ، ZnO وهياكل معقدة جدًا مثل جسيمات القشرة الأساسية.

## 4.3.2.2 تقنية الصوت الفائق Super Sound Technology

تم زيادة استخدام الصوت فوق الصوتي لتخليق المواد بشكل كبير في السنوات القليلة الماضية. تتضمن تقنيات التوليف بمساعدة الموجات فوق الصوتية طريقتين رئيسيتين، سونو كيمياء والتحلل الحراري بالرش بالموجات فوق الصوتية. تمت مناقشة طريقة الانحلال الحراري بالرش بالموجات فوق الصوتية بالفعل في طرق المرحلة الغازية لتخليق البنية النانوية. في طريقة الموجات فوق الصوتية للأشعة فوق الصوتية، لا يحدث تفاعل مباشر بين الموجات فوق الصوتية والأنواع الكيميائية أو الجزيء المستهدف. يعد التجويف الصوتي سمة مميزة لهذه الطريقة، مما يعني تكوين الفقاعات ونموها وانهيارها الداخلي في السوائل بسبب الموجات فوق الصوتية عالية الكثافة. ينتج عن تعرض السوائل للموجات فوق الصوتية موجات صوتية متناوبة ممتدة ومضغوطة تشكل الفقاعات وتتأرجحها. تحتوي الفقاعات المتذبذبة على طاقة الموجات فوق الصوتية. في حالة معينة، تنمو الفقاعة بشكل زائد وتنهار وتطلق الطاقة المركزة على الفور، مما يؤدي إلى انبعاث الضوء أو التلألؤ الصوتي. مبدأ العمل الرئيسي هو أن كل فقاعة تجويف تعمل كمفاعل كيميائي دقيق للبلازما وتوفر بيئة نشطة للغاية في درجة حرارة الغرفة تقريبًا للمحلول السائب. إن الأجهزة المتوفرة تجارياً مثل حمامات التنظيف بالموجات فوق الصوتية، والأبواق بالموجات فوق الصوتية ذات الغمر المباشر، ومفاعلات التدفق هي أمثلة على أجهزة سونوتشيميكال التي تعمل على مبدأ سونوكيمياء.

**مزايا**

1-إنها طريقة صديقة للبيئة، خضراء، سريعة وسهلة للبنى النانوية للتوليف.

2- نجح في استخدام السوائل العضوية الأقل تطايرًا.

3- من خلال تعديل ظروف التفاعل، يمكن تحضير عدة أشكال من الهياكل النانوية للمعادن والأكاسيد والكبريتيدات والكربيدات.

4- لتقليل أملاح المعادن النبيلة أثناء عدم الحاجة إلى عامل اختزال تكوين البنية النانوية، يكون معدل التفاعل سريعًا بشكل عام ويتم إنتاج جزيئات معدنية صغيرة جدًا.

**العيوب**

1- يعتمد معدل الاختزال الكيميائي الصوتي كليًا على التردد فوق الصوتي.

**التطبيقات**

1- يتم استخدامه لإنتاج مواد غير عضوية ذات بنية نانوية غير عادية مثل مركبات الكربونيل $Fe (CO)_5$ ، $Co (CO)_3NO$، $Mo (CO)_6$

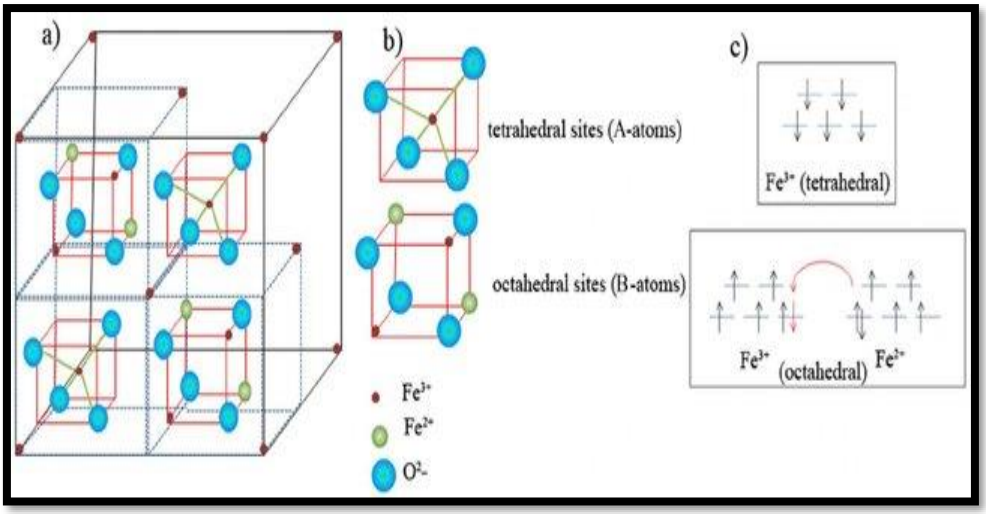
2- تحضير مادة البنية النانوية من المركبات الفلزية العضوية المتطايرة.

## 3.2 تحضير بعض المركبات النانوية

## Synthesis of some nanocomposites

### 1.3.2 اوكسيد الحديد النانوي $Fe_3O_4$ Iron oxide Nanoparticles

المغنتيت هو أحد أكاسيد الحديد المعروف بأنه أقدم مادة مغناطيسية، ويسمى أيضًا أكسيد الحديد الأسود وخام الحديد المغناطيسي وحجر الاساس. يمكن لمعدن المغنتيت المتبلور باستخدام الصيغة الكيميائية $Fe_3O_4$ في هياكل الإسبنيل أن يُظهر أقوى مغناطيسية بين المراحل الأخرى من أكاسيد الحديد. عادة ، يمكن العثور على المغنتيت الطبيعي بكثافة $5.2 g/cm^3$ كحبوب دقيقة في الصخور الرسوبية بصلابة من 5.5 إلى 6.5 بمقياس موس The Mohs scale [73] ومع ذلك ، تمتلك $Fe_3O_4$ NPs طاقة سطحية عالية ، فإن $Fe_3O_4$ NPs غير المشتركة (المكشوفة) لها نشاط كيميائي عالٍ على سطحها ولكنها معرضة بشكل كبير للأكسدة في الهواء، مما قد يؤدي إلى انخفاض كبير في مغناطيسيتها والتشتت. لذلك ، من المهم النظر في تفعيل(اضافة ميزات أو قدرات أو خصائص جديدة إلى مادة عن طريق تغيير كيمياء سطح المادة) $Fe_3O_4$ NPs بمواد رفيعة وسميكة متنوعة ، مثل جميع أنواع البوليمرات [74–76] ، ومواد أكسيد الجرافين [77–79]، والسيليكا [80] ، المواد الكربونية [81] ، المواد الممتصة للميكروويف بأكسيد المعادن ومواد الإنارة المختلفة [80]. تعمل الطلاءات المعدلة على تحسين ثبات وتشتت $Fe_3O_4$ NPs الغير مشتركة وتوفر مواقع التنسيق / الاقتران الكيميائي للعقاقير والرابطات المستهدفة والجينات والكواشف العلاجية الأخرى [82] .

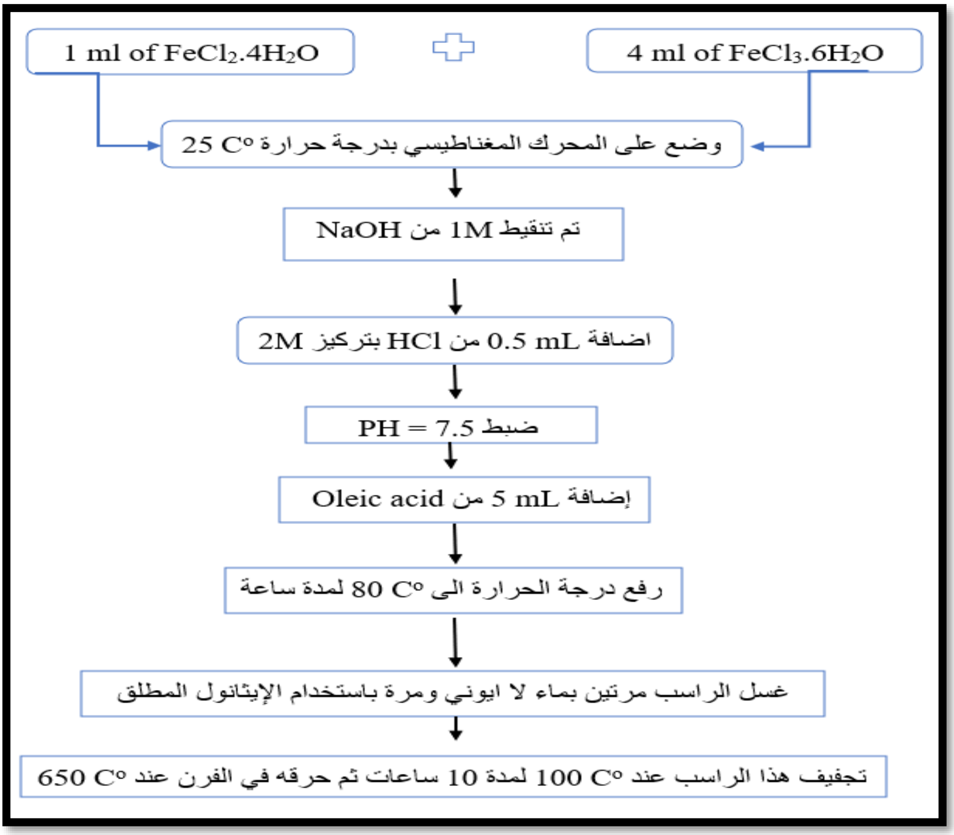



**الشكل (23.1). الأشكال التخطيطية لـ: (A) التركيب البلوري المبسط لـ $Fe_3O_4$؛ (B) مواقع ثماني السطوح ورباعية السطوح تظهر الكاتيونات والأكسجين؛ (C) رسم تخطيطي لانشقاق مدارات 5 d من أيونات الحديد في مواقع الاوكتاهدرا ورباعية السطوح.** [83]

## 1.1.3.2 تحضير اسبنيل الحديد Fe3O4 النانوي بواسطة الترسيب المشترك

## Preparation of nano iron spinel $Fe_3O_4$ by co-precipitation

تم تحضر (2M) من $FeCl_2.4H_2O$ وذلك بأذبة (3.97 g) في (10 mL) ماء لا ايوني. وحضر(1M) من $FeCl_3.6H_2O$ وذلك بأذبة (2.7 g) في 10 mL ماء لا ايوني. تم مزج 1 mLمن المحلول الاول مع 4 mL من المحلول الثاني وضع على المحرك المغناطيسي بدرجة حرارة 25 C° . تم تنقيط 1M من NaOH، وذلك باذابة (1 g) في 25 mL ماء لا ايوني مع التحريك المستمر، تم اضافة 0.5 mL من HCl بتركيز 2M لضبط مستوى الأس الهيدروجيني إلى( 7.5). اضيف 5 mL من Oleic acid إلى المحلول ثم رفع حرارة التفاعل الى 80C° لمدة ساعة واحدة، تم غسل الراسب مرتين بماء لا ايوني ومرة باستخدام الإيثانول المطلق. تم تجفيف هذا الراسب عند 100 C° لمدة 10 ساعات ثم حرقه في الفرن عند 650 C°. وتم الحصول على $Fe_3O_4$ النانوي[84].

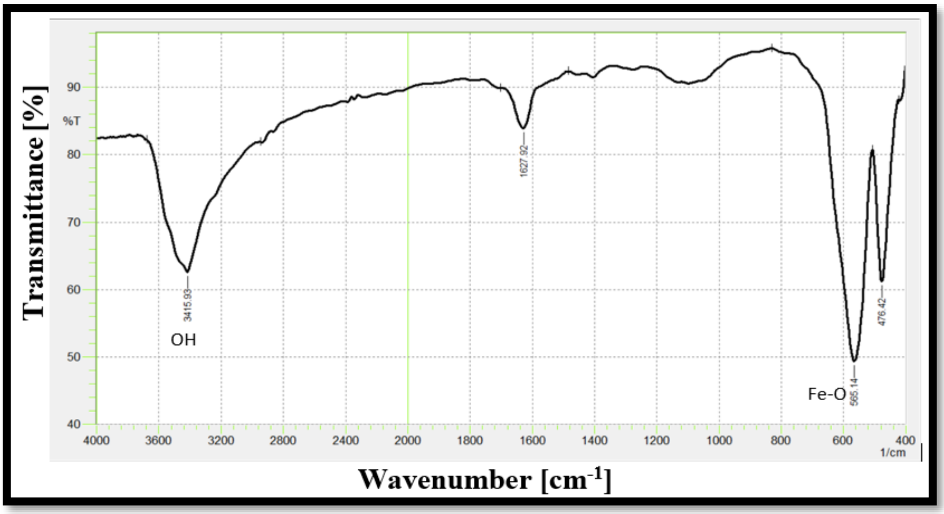



**مخطط (1.2) خطوات تحضير اسبنيل الحديد النانوي $Fe_3O_4$.**

## 2.1.3.2 تشخيص اوكسيد الحديد ($Fe_3O_4$) النانوي بواسطة طيف الاشعة تحت الحمراء

## Characterization of iron oxide ($Fe_3O_4$) nanoparticles by FTIR

شخص اسبنيل ($Fe_3O_4$) النانوي عن طريق تتبع طيف الاشعة تحت الحمراء (FT-IR) له ومقارنته بطيف املاح $FeCl_3.6H_2O$ و $FeCl_2.4H_2O$ كما موضح بالشكل(24.2). اهم ما يميز طيف ($Fe_3O_4$) ظهور حزمتين حادتين عند التردد ( $565, 476cm^{-1}$ )فهي تعود لمط الأصرة (Fe-O) Ʊ وهي حزمة تميز هياكل الإسبنيل. هو ظهور حزمة عريضة ومميزة عند التردد ($3415cm^{-1}$ )العائدة لمط الاصرة Ʊ(O-H) [85].




**الشكل (24.2) يوضح طيف الاشعة تحت الحمراء ل اسبنيل ($Fe_3O_4$) النانوي**

## 3.1.3.2 تشخيص اسبنيل الحديد النانوي ($Fe_3O_4$) بواسطة حيود الأشعة السينية

## Characterization of iron Spinel ($Fe_3O_4$) nanoparticles by X-ray diffraction

تم توصيف البنية البلورية للعينات اسبنيل الحديد النانوي ($Fe_3O_4$) المحضرة بواسطة حيود الأشعة السينية ،كما مبين في الشكل (25.2) تم تطابق طيف حيود الاشعة السينية ل أسبنيل الحديد المحضر مع الطيف القياسي ($Fe_3O_4$) مع بيانات(ICDD) المركز الدولي الحيود الاشعة السينية card no: 79-0417 [86] .تم الكشف عن اسبنيل الحديد النانوي ($Fe_3O_4$) بواسطة قمم الحيود (25)، (28)، (30)، (32)، (34) و (41) (43) (46) (50) (54) (57) (63) (65) تم حساب متوسط الحجم البلوري اسبنيل الحديد النانوي كانت بمقدار 38.19 نانومتر باستخدام معادلة ( Debye-Scherer)، كما موضح في المعادلة رقم 1 وجدول (2.2).

**جدول (2.2) يبين حساب متوسط الحجم الحبيبي لاسبنيل الحديد النانوي**

| K | λ (Å) | Peak (°) position 2θ | FWHM (°) Bsize | Dp (nm) | Dp Average (nm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.94 | 1.54178 | 18.406 | 0.492 | 17.10 | 38.19 |
| | | 24.3911 | 0.1476 | 57.56 | |
| | | 28.5849 | 0.1968 | 43.54 | |
| | | 30.2043 | 0.1476 | 58.27 | |
| | | 31.9282 | 0.1968 | 43.89 | |
| | | 33.3871 | 0.246 | 35.24 | |
| | | 35.4702 | 0.246 | 35.44 | |
| | | 35.8453 | 0.1968 | 44.35 | |
| | | 41.1078 | 0.1968 | 45.06 | |
| | | 43.0503 | 0.5904 | 15.12 | |
| | | 45.6530 | 0.1968 | 45.78 | |
| | | 49.6950 | 0.1968 | 46.50 | |
| | | 53.3256 | 0.2952 | 31.48 | |
| | | 54.2699 | 0.246 | 37.93 | |
| | | 56.7991 | 0.492 | 19.19 | |
| | | 62.6343 | 0.246 | 39.51 | |
| | | 64.1978 | 0.2952 | 33.21 | |
| | | 66.4856 | 0.5904 | 16.82 | |
| | | 72.1789 | 0.2952 | 34.81 | |
| | | 73.7750 | 0.5904 | 17.58 | |
| | | 75.5382 | 0.3936 | 26.69 | |

$$D = \frac{K\lambda}{\beta cos\theta} \quad \text{.........1}$$

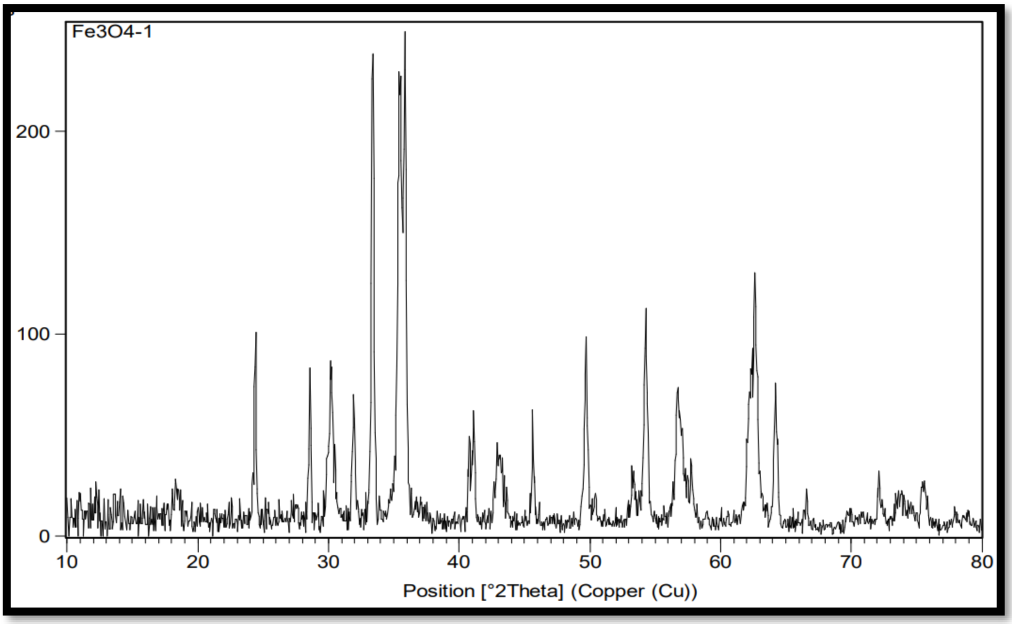
متوسط الحجم البلوري (نانومتر) = D

ثابت يعتمد على الشكل البلوري (0.89- 0.94) = K

**λ** = الطول الموجي للأشعة السينية (1.54059 Å) (معظمλ للنحاس )

FWHM = B منتصف أعلى قمة

**θ**= زاوية براغ

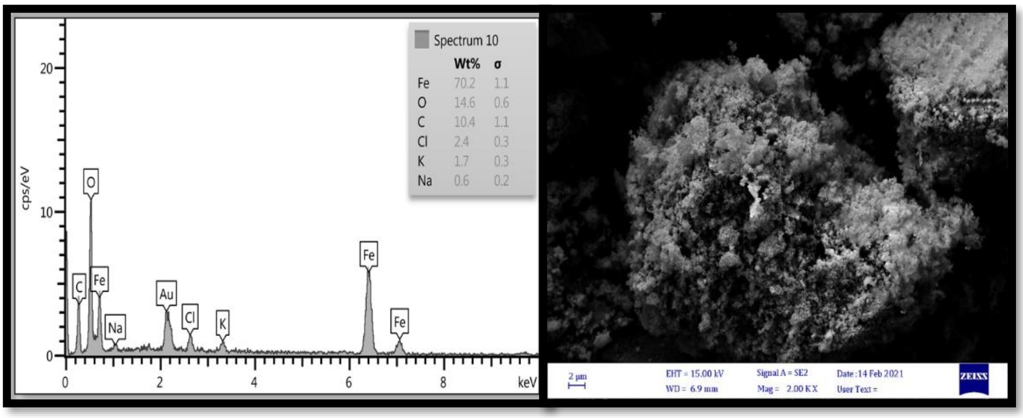



**الشكل (25.2) يوضح طيف حيود الاشعة السينية ل اسبنيل الحديد النانوي ($Fe_3O_4$)**

## 4.1.3.2 تشخيص اسبنيل الحديد ($Fe_3O_4$) النانوي بواسطة الأشعة السينية المشتتة للطاقة

## Characterization of ferrite Spinel ($Fe_3O_4$) nanoparticles by energy dispersive X-ray (EDX)

تم تشخيص نسبة العناصر الموجودة في اسبنيل الحديد $Fe_3O_4$ بواسطة الأشعة السينية المشتتة للطاقة EDX. كما هو مبين في الشكل (26.2) وأظهرت النتائج وجود الحديد بنسبة (70.2%) والأكسجين (14.6%). وجود نسب قليلة جدا لكل من عنصر الكاربون و الكلور و البوتاسيوم والصوديوم و مادة الأسبنيل المادة المحضرة ذات نقاوة جيدة [87]



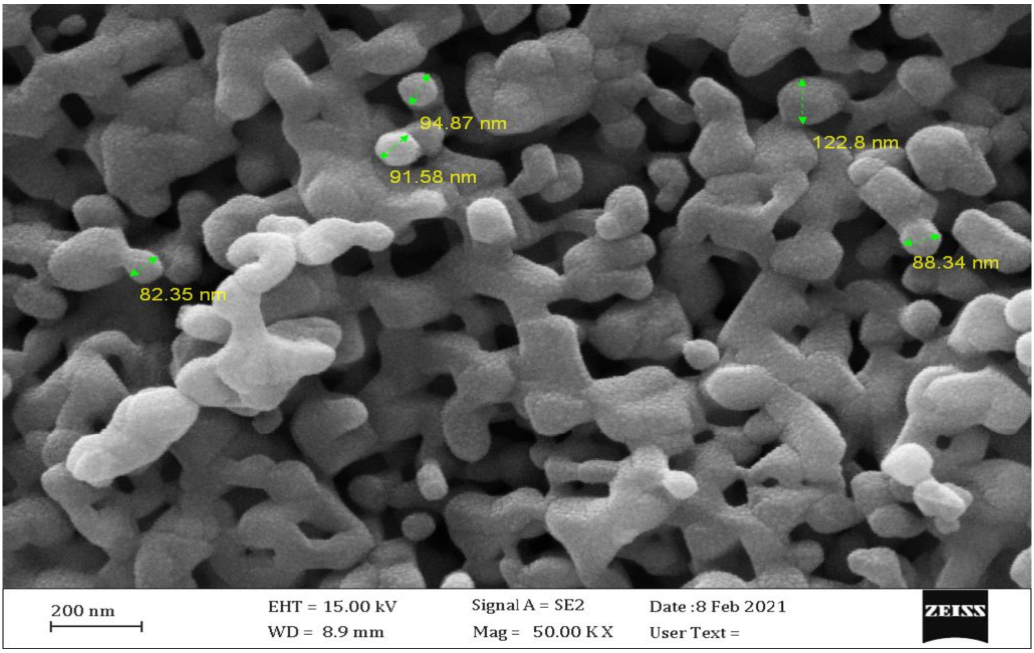

**الشكل (26.2) يوضح طيف الأشعة السينية المشتتة للطاقة اسبينيل الحديد $Fe_3O_4$**

## 5.1.3.2 تشخيص أسبنيل الحديد ($Fe_3O_4$) النانوي بواسطة مجهر المسح الإلكتروني

## Characterization of ferrite iron ($Fe_3O_4$) nanoscopic by scanning electron microscope (SEM)

تم دراسة التراكيب المورفولوجية والهيكلية أسبنيل الحديد النانوي($Fe_3O_4$) باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح SEM يوضح الشكل (27.2) أن الجسيمات اسبنيل الحديد المحضرة تكون ضمن نطاق النانومتر وأظهرت صور SEM إلى أن بعض الحبيبات النانوية مفصولة جيدًا عن بعضها البعض بينما كان معظمها موجودًا في شكل متكتل يعود

هذا التكتل الى التأثيرات الألكتروستاتيكية وهذا يتفق مع سلوك مشابه لتكتل الجسيمات النانوية في دراسات سابقة ويبلغ معدل قطر هذه الجسيمات حوالي 95.988 نانومتر [88]

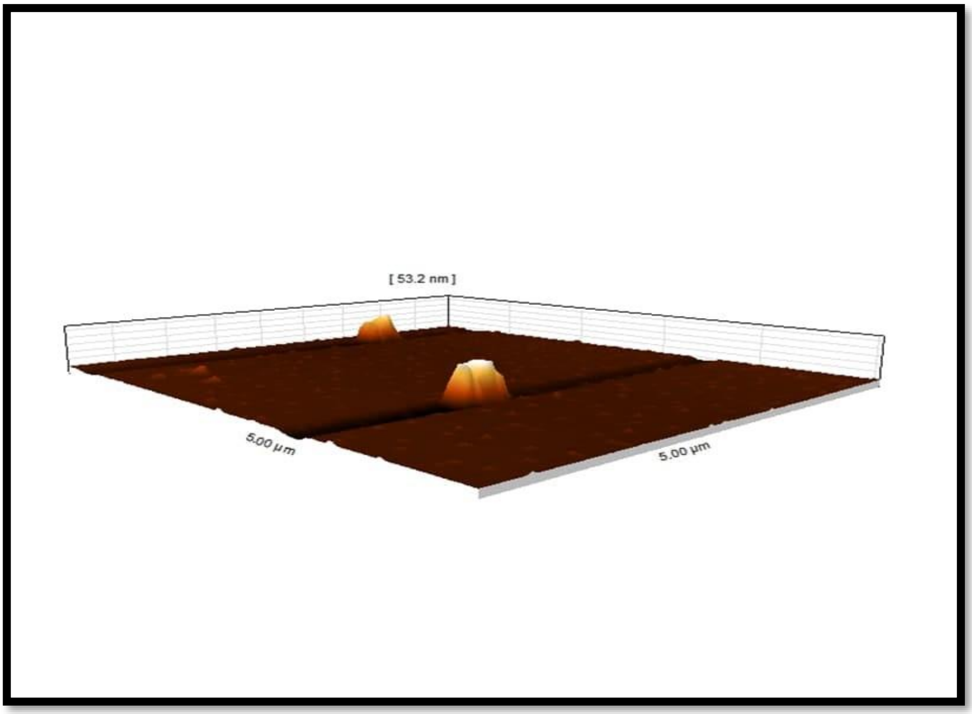



**الشكل (27.2) يوضح المجهر الالكتروني الماسح (SEM) اسبنيل الحديد النانوي ($Fe_3O_4$)**

## 6.1.3.2 تشخيص اسبينيل الحديد ($Fe_3O_4$) النانوي بواسطة مجهر القوة الذرية

## Characterization of Spinel iron ($Fe_3O_4$) nanoparticles by atomic force microscopy (AFM)

تم تحليل اسبنيل الحديد ($Fe_3O_4$) النانوي المحضر باستخدام مجهر القوة الذرية (AFM) وان معدل الحجم للحبيبات (Ave. Diameter) كان (53.2nm) نانومتر ومتوسط الخشونة (Sa. Roughness average) كانت (201pm) بيكو متر و كان ( Sq.Root (mean square معدل الجذر التربيعي (561pm) بيكو متر، كما يظهر في الشكل (28.2) [89]




**الشكل (28.2) صورة مجهر القوة الذرية (AFM) اسبينيل الحديد النانوي($Fe_3O_4$)**

## 7.1.3.2 الفعالية المضادة للبكتريا لاسبنيل الحديد النانوي ($Fe_3O_4$) تجاه E. coli

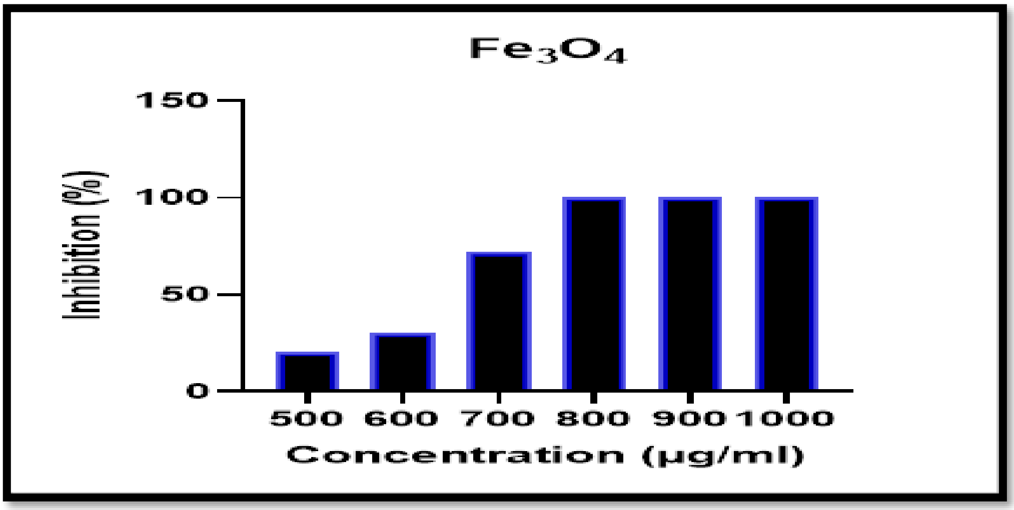
## Antibacterial activity of nano iron spinel) $Fe_3O_4$) against E. coli

تم دراسة تأثير اضافة تركيز مختلفة لاسبنيل الحديد ($Fe_3O_4$) النانوي على تثبيط نمو بكتريا E. coli كما مبين في جدول (3.2) وشكل (29.2) حيث إذ يلحظ وجود علاقة طردية بين تركيز ($Fe_3O_4$) ونسبة تثبيط نمو البكتريا، اذ بلغت أعلى نسبة تثبيط عند تركيز (800µg/ml). في حين بلغت أقل نسبة تثبيط % 20.3 في تركيز 500(µg/ml) وأظهرت نتائج التحليل الإحصائي لاسبنيل الحديد النانوية ($Fe_3O_4$) على تثبيط نمو بكتريا E. coli باستعمال برنامج (Graph Pad Prism 8.0) واستخدم تحليل (correlation) لاستدلال على المعنوية بلغ قيمة (P-value<0.0042) وهناك فرق معنوي كبير بين التركيز ونسبة

بقاء الخلايا yes Significant diff. Among means ($P < 0.05$) وكانت قيمة R square تساوي (0.9243) مما يدل على وجود علاقة ارتباطية قوية بين تثبيط نمو بكتريا *E. coli* وزيادة تركيز ($Fe_3O_4$).

**جدول (3.2) يبين تأثير فعالية اسبنيل الحديد اتجاه البكتيريا**

| Compound | Inhibition (%) Mean±SD | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Concentration (µg/ml) | | | | | |
| | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| $Fe_3O_4$ | 20.3±1.90 | 30.2±4.20 | 72.2±1.38 | 100 | 100 | 100 |




**الشكل (29.2) يوضح تأثير تركيز اسبنيل الحديد النانوي على نمو E. coli**

أظهر اسبنيل الحديد ($Fe_3O_4$) النانوي نشاطًا مضادًا للبكتيريا ممتازًا ضد الإشريكية القولونية و لديه إمكانات كبيرة كعلاج مضاد للبكتيريا موجه لمواقع العدوى تحت مجال مغناطيسي خارجي [90]. إن اسبنيل الحديد ($Fe_3O_4$) النانوي له أهمية كبيرة لما يتمتع به من قوة مغناطيسية فائقة وقوة عالية وقابلية مغناطيسية عالية [91] قد يكون التأثير المضاد للميكروبات لـ ($Fe_3O_4$) من خلال آليات مختلفة مثل ROS وجذور الأوكسيد الفائق ($O^{-2}$) وجذر الهيدروكسيد (OH) وبيروكسيد الهيدروجين ($H_2O_2$) والإجهاد التأكسدي. يمكن أن يساهم الحجم الصغير لـ ($Fe_3O_4$) في نشاط المضاد للميكروبات. يمكن أن يتفاعل ($Fe_3O_4$) مع الأغشية البكتيرية، ويمكن أن يرتبط تثبيط نمو البكتيريا باختراقها في الخلية البكتيرية [92] يحتوي على نشاط مضاد للجراثيم أعلى وسمية خلوية أقل [93].

## 8.1.3.2 اختبار سمية اسبنيل الحديد ($Fe_3O_4$) النانوي على خط الخلايا HUVEC

## Toxicity test of nano spinel iron ($Fe_3O_4$) on HUVEC cells

تمت دراسة سمية الخلوية لجسيمات اسبنيل الحديد ($Fe_3O_4$) النانوي على خطوط خلايا HUVEC وذلك من خلال اجراء اختبار MTT في تراكيز مختلفة من (400,200,100,50,25µg/ml) خلال 24 و48 ساعة بالمقارنة مع المجموعة الضابطة. أظهرت النتائج تركيز نسبة بقاء خلايا HUVEC بعد مرور 24 ساعة من اضافة اسبنيل الحديد ($Fe_3O_4$) النانوية عند تركيز(25µg/ml) كانت 98.68% مما يدل على عدم تأثير هذا التركيز القليل على الخلايا HUVEC لكن نجد أن نسبة بقاء الخلايا HUVEC، عند تركيز (50µg/ml) كانت90.24% اذ قلت النسبة مما يدل على أن هناك علاقة بين زيادة التركيز ونسبة الفعالية او القتل بينما نسبة

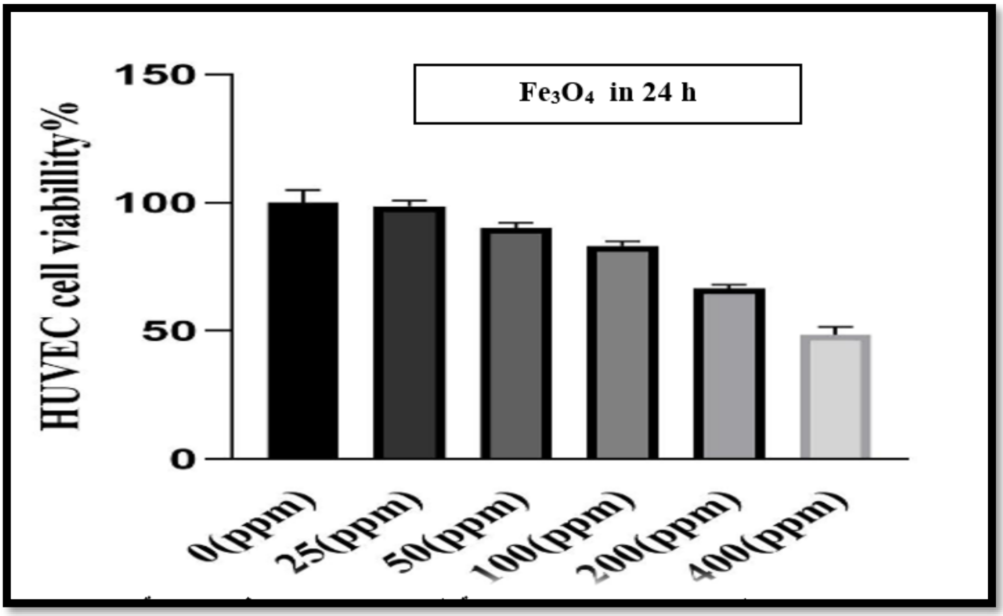
بقاء الخلايا عند تركيز (100µg/ml) كانت 83.17% وفي تركيز(200 µg/ml) كانت نسبة بقاء الخلايا HUVEC 66.56% لكن عند تركيز (400µg/ml) كانت نسبة بقاء الخلايا HUVEC 48.59% مما يدل على نقصان عدد الخلايا الحية بنسبة أكثر من النصف، كما مبين في جدول (4.2) وشكل (30.2).

**جدول (4.2) يبين السمية الخلوية لاسبنيل الحديد النانوي في 24 ساعة لخلايا HUVEC**

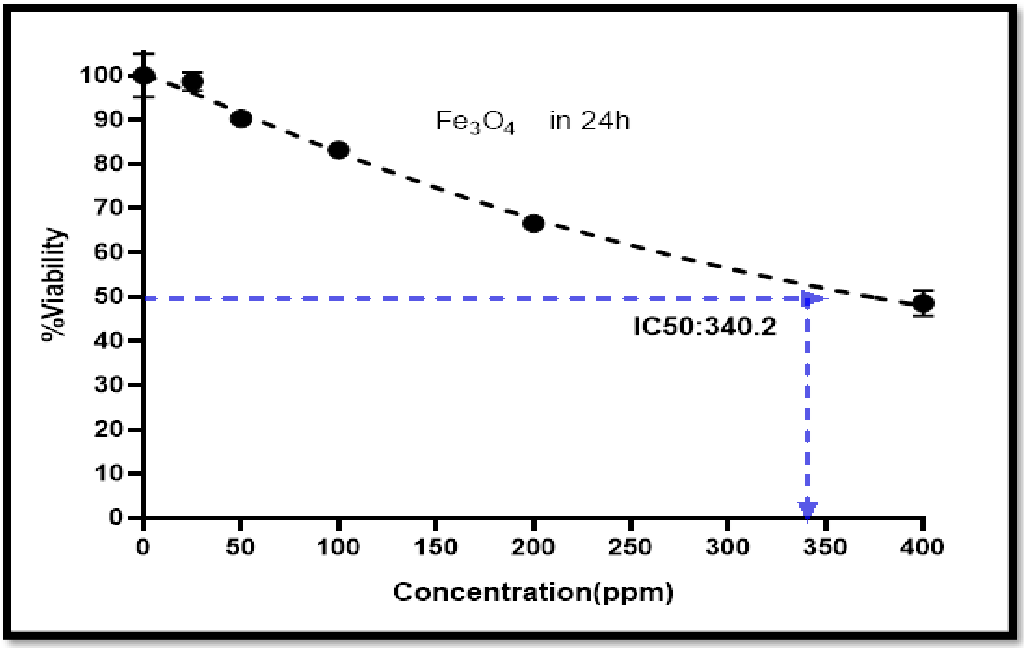
| Concentration | R1% | R2% | R3% | Mean % | SD |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 (Blank) | 95.61373 | 99.06347 | 105.3241 | 100.0004 | 4.922536 |
| 25 | 99.83008 | 96.25257 | 99.95785 | 98.68017 | 2.103332 |
| 50 | 88.33093 | 90.11969 | 92.29175 | 90.24746 | 1.983498 |
| 100 | 81.55921 | 82.83689 | 85.13672 | 83.17761 | 1.81293 |

| 200 | 68.2713 | 65.4604 | 65.97147 | 66.56773 | 1.497308 |
|---|---|---|---|---|---|
| 400 | 45.27301 | 49.7449 | 50.76704 | 48.59498 | 2.921959 |

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي لاسبنيل الحديد النانوية ($Fe_3O_4$)على خلايا HUVEC في 24 ساعة باستعمال برنامج (Graph Pad Prism 8.0) استخدم تحليل التباين وحيد الاتجاه (One way ANOVA) لاستدلال على المعنوية حيث بلغت قيمة (P- 0.0002 value<) وهناك فرق معنوي كبير بين التركيز ونسبة بقاء الخلايا ( Significant diff. Among means (P < 0.05) yes) وكانت قيمة R square تساوي (0.9702) مما يدل على وجود علاقة ارتباطية قوية بين المتغيرات كما تم قياس تركيز للتثبيط النصفي half maximal inhibitory concentration (IC50)لاسبنيل الحديد النانوي على خلايا HUVEC في 24 ساعة باستعمال برنامج (Graph Pad Prism 8.0) استخدام تحليل normalized response وكانت قيمة (IC50=340) كما مبين في الشكل (31.2)




**شكل (30.2) اختبار MTT اسبنيل الحديد ($Fe_3O_4$) النانوية على** HUVEC **في 24 ساعة**



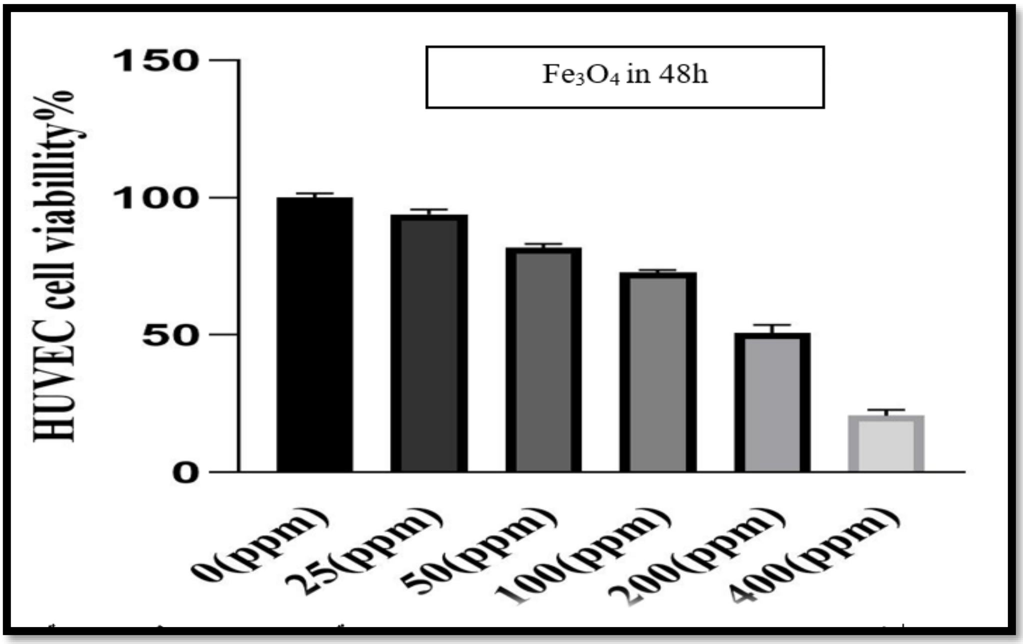

**الشكل (31.2) IC50 لاسبنيل الحديد ($Fe_3O_4$) النانوي في 24 ساعة**

بينما أظهرت النتائج الواردة في جدول (5.2) السمية الخلوية وتم فحصها في تراكيز مختلفة (من 25 إلى 400 ميكروجرام/مل) بالمقارنة مع المجموعة الضابطة أظهرت النتائج أن تركيز نسبة بقاء الخلايا HUVEC ، بعد مرور48 ساعة من اضافة أسبنيل الحديد ($Fe_3O_4$) النانوية عند تركيز(25µg/ ml) كانت 93.97% مما يدل على أن هناك علاقة بين عامل الوقت والتركيز على نسبة بقاء الخلايا HUVEC لكن نجد أن نسبة بقاء الخلايا HUVEC عند تركيز(50µg/ ml) كانت81.79% قلت النسبة مما يدل على أن هناك علاقة بين زيادة التركيز ونسبة الفعالية أو القتل بينما نسبة بقاء الخلايا عند تركيز (100 µg/ ml)كانت 72.77% إذ حيث يظهر أن النسبة قلت وفي تركيز(200 µg/ml) كانت نسبة بقاء الخلايا HUVEC 50.79% إذ حيث يظهر أن النسبة قلت الى النصف لكن عند تركيز(400 µg/ml) كانت نسبة بقاء الخلايا HUVEC 20.74% ، مما يدل على نقصان عدد الخلايا الحية بنسبة اكثر من النصف ،كما مبين في الشكل (32.2) و جدول (5.2)

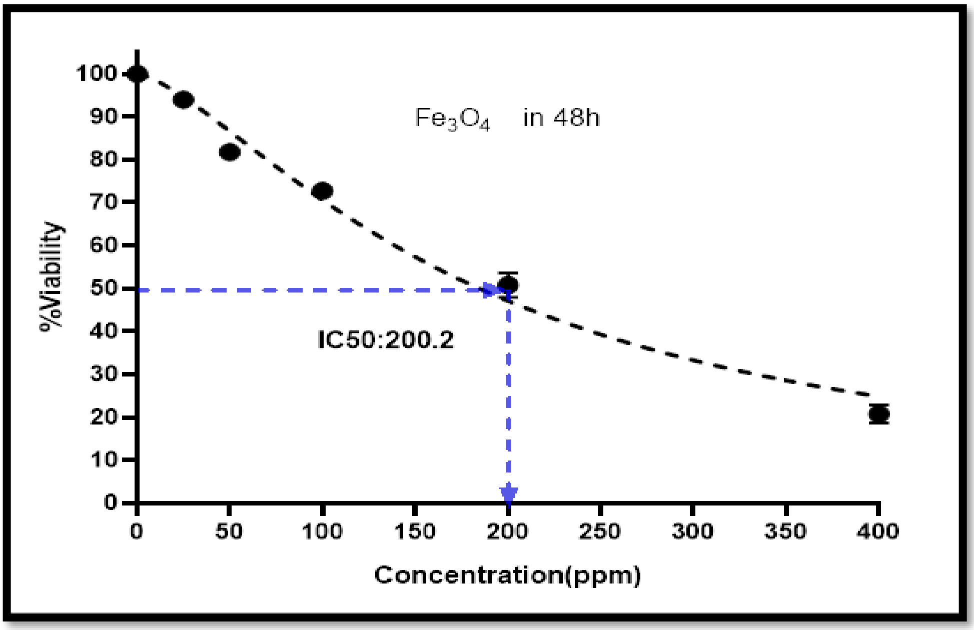
**جدول (5.2) يبين السمية الخلوية لاسبنيل الحديد النانوي في 48 ساعة لخلايا HUVEC**

| Concentration | R1% | R2% | R3% | Mean % | SD |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 101.8292 | 98.83666 | 99.33541 | 100.0004 | 1.603267 |
| 25 | 95.71945 | 92.22818 | 93.97382 | 93.97382 | 1.745636 |
| 50 | 82.00374 | 83.12594 | 80.2581 | 81.79593 | 1.445165 |
| 100 | 73.40025 | 71.7793 | 73.15087 | 72.77681 | 0.872818 |
| 200 | 53.94888 | 48.33791 | 50.08354 | 50.79011 | 2.871442 |
| 400 | 19.16085 | 19.90898 | 23.15087 | 20.74023 | 2.120923 |

بينما أظهرت نتائج التحليل الإحصائي لاسبنيل الحديد ($Fe_3O_4$) النانوية على خلايا HUVEC في 48 ساعة إذ حيث بلغت قيمة (P-value< 0.0001) وهناك فرق معنوي كبير بين التركيز ونسبة بقاء الخلايا ( Significant diff. Among means (P < 0.05) yes) وكانت قيمة R square تساوي (0.9774) مما يدل على وجود علاقة ارتباطية قوية بين المتغيرات، كما تم قياس تركيز للتثبيط النصفي half maximal inhibitory concentration (IC50) لاسبنيل الحديد النانوية على خلايا HUVEC في 48 ساعة باستعمال برنامج ((Graph Pad Prism 8.0) استخدام تحليل normalized response وكانت قيمة (IC50=200) ،كما مبين في الشكل (33.2)




الشكل (32.2) اختبار MTT اسبنيل الحديد (Fe3O4) النانوية على HUVEC في 48 ساعة



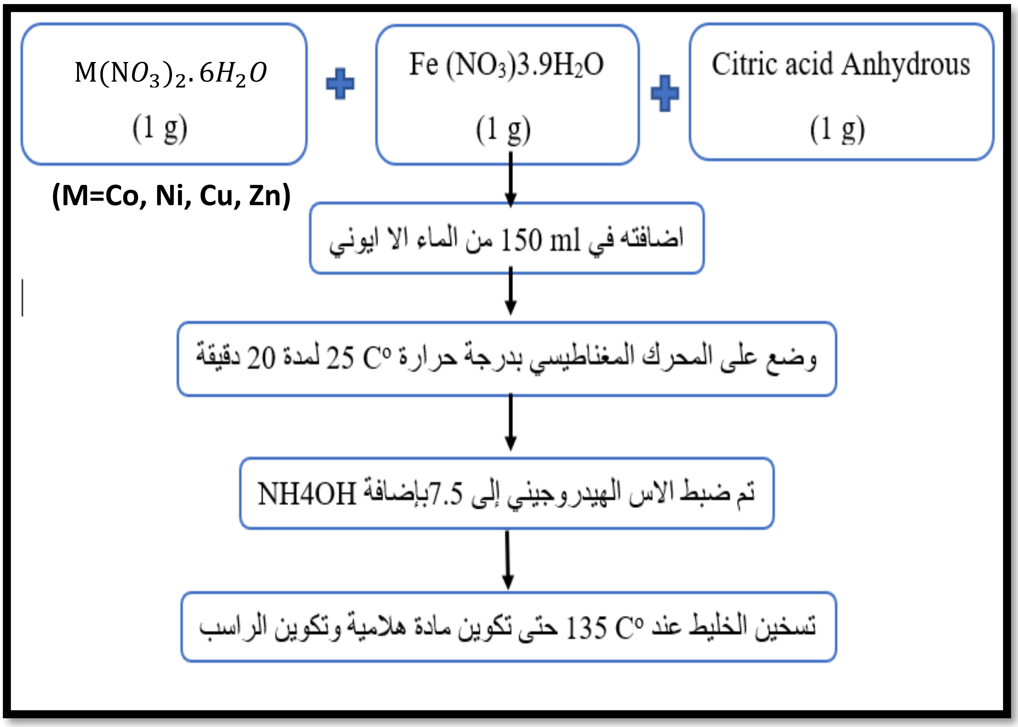

الشكل (33.2) IC50 لاسبنيل الحديد ($Fe_3O_4$) النانوي في 48 ساعة

بسبب خصائصها الفريدة، تمتلك إمكانات هائلة في مجموعة متنوعة من التطبيقات الطبية الحيوية مثل التصوير بالرنين المغناطيسي، والتوصيل المحدد للأدوية أو الجينات، وهندسة الأنسجة، التدمير الانسجة الورمية من خلال ارتفاع الحرارة، التحولات المغناطيسية، وهندسة الأنسجة [94–98]. تظهر التقارير أن أوكسيد الحديد النانوية لديهم القدرة على تشخيص الآفات الكبدية البؤرية [99] والسمية لخلايا الكبد البشرية[100]. ومع ذلك، فإن الجسيمات النانوية تشكل مخاطر صحية عالية بسبب قدرتهم على الوصول إلى كل جزء من الأعضاء والأنسجة وتفاعلهم مع الوظائف الخلوية. [101].أظهر أسبنيل الحديد ($Fe_3O_4$) النانوي سمية خلوية منخفضة على خلايا HUVEC، لذلك يمثل من احد المركبات المهمة في التطبيقات الطبية الحيوية المختلفة كمضاد للميكروبات و ناقل للأدوية [102–104]. يمتا [181-179] ($Fe_3O_4$) النانوي حجم صغير ومساحه سطحيه كبيره و خصائص مغناطيسيه فائقه [105]. إذ حيث بينت الادبيات ان تأثيرات التوليفة للجسيمات النانوية ($Fe_3O_4$) متوافقة حيوياً وجيدة التحمل من الناحية الفسيولوجية مع عدم احتوائها على سمية كبيرة [106]

## 2.3.2 تحضير فريت الاسبنيل النانوية $MFe_2O_4$ (M=Co, Ni, Cu, Zn) بواسطة الكيمياء الخضراء

## Preparation of $MFe_2O_4$ (M=Co, Ni, Cu, Zn) spinel ferrite nanoparticles by green chemistry

تم مزج 1g من $M(NO_3)_2.6H_2O$ حيث ان (M=Co, Ni, Cu, Zn) و1g من Fe $(NO_3)_3.9H_2O$ و1g من Citric acid Anhydrous في 150 ml من الماء الا ايوني وضع على المحرك المغناطيسي بدرجة حرارة 25 C$^o$ لمدة 20 دقيقة تم ضبط الاس الهيدروجيني إلى 7.5بإضافة $NH_4OH$ تم تسخين الخليط عند 135 C$^o$، حتى تكوين مادة هلامية وتكوين الراسب. [107] .



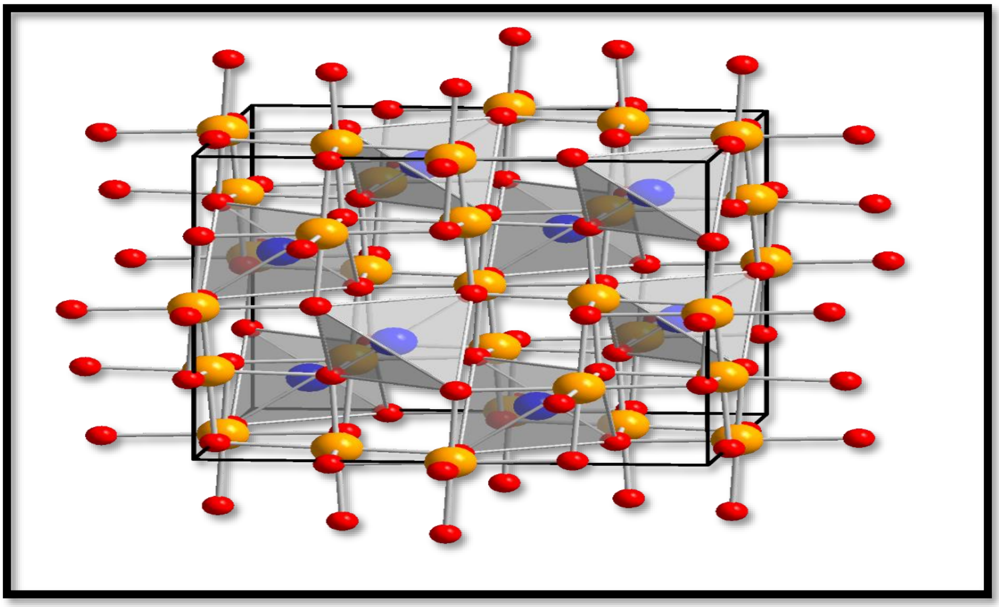

**مخطط (2.2) خطوات تحضير جزيئات فريتات الاسبنيل النانوية ($MFe_2O_4$)**

## 1.2.3.2 فريت الكوبلت النانوي $CoFe_2O_4$

## ferrite Nanoparticles C obalt

هو اسبنيل معكوس مع تطبيقات واعدة في تخزين البيانات يتميز بانه [108] أجهزة بصرية مغناطيسية [109] تحفيز [110] توصيل الدواء [111] ، تصوير بالرنين المغناطيسي. وأجهزة الاستشعار الحيوية. يمكن أن تكون NPs الفريتية الكوبالتية مقلوبة كليًا أو جزئيًا اعتمادًا على توزيع كل من $Co^{2+}$ و $Fe^{3+}$ أيونات بين المواقع A والمواقع B. تم ضبط الخصائص المغناطيسية لمركب $CoFe_2O_4$مع أيونات RE المستبدلة في مواضع $Fe^{3+}$ من خلال التحكم في تفاعل التبادل الفائق بين أيونات $Fe^{3+}$، والذي يتم استكماله بالتفاعلات بين أيونات $RE^{3+}$ و $Fe^{3+}$ بسبب تشوه الهيكل الناجم عن نصف القطر الأيوني الكبير وميزات مغناطيسية فريدة. في الوقت الحاضر ، تم إجراء العديد من الدراسات للتحقيق في السلوك المغناطيسي لمركب $CoFe_2O_4$المستبدلة RE. درس تأثير الاستبدال على

خواصها المغناطيسية مثل الإكراه المغناطيسي ، ومغنطة التشبع ، وتباين الخواص البلورية المغناطيسية. [112]



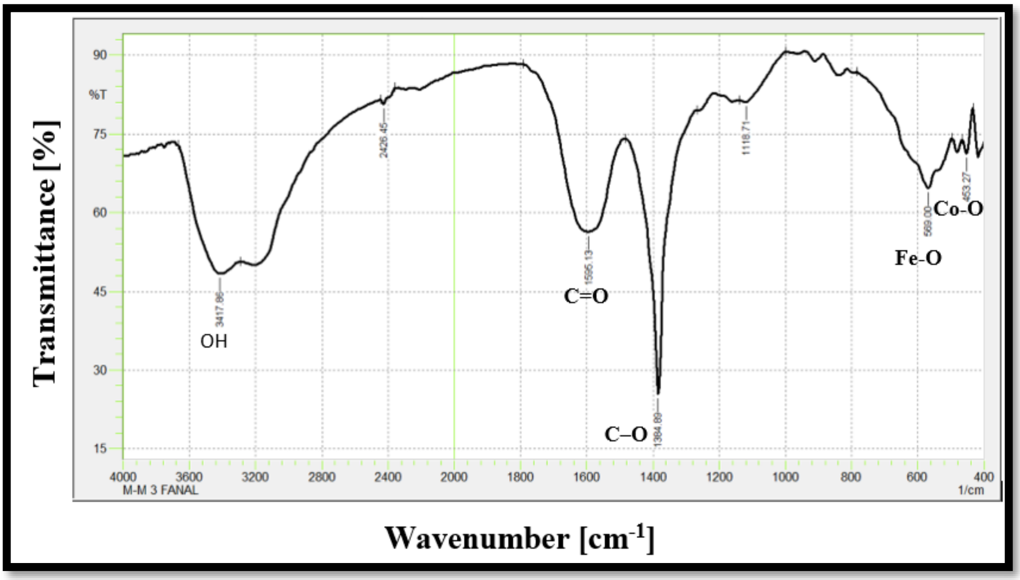
**الشكل (34.2) رسم تخطيطي لهيكل الإسبنيل الفريت لـ $CoFe_2O_4$** [8]

## 1.1.2.3.2 تشخيص فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$) النانوي بواسطة طيف الاشعة تحت الحمراء

## Characterization of cobalt ferrite ($CoFe_2O_4$) nanoparticles by FTIR

شخص فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$) النانوي عن طريق تتبع طيف الاشعة تحت الحمراء (FT-IR) له ومقارنته بطيف املاح $Co(NO_3)_2.6H_2O$ و $Fe(NO_3)_3.9H_2O$ ، كما موضح بالشكل(35.2) .ظهور حزمة حادة و متوسطة عند التردد ( $438cm^{-1}$ ) تعود لمط الاصرة (Co-O) **Ʋ** و حزمة أخرى حادة وطويلة عند التردد ($542cm^{-1}$) تعود لمط الاصرة (Fe-O) **Ʋ**. [113,114]، كما لوحظ حزمة حادة و طويلة عند التردد ($cm^{-}$) ($1384^{1}$ تعود لمط الأصرة (C-O) **Ʋ** و حزمة عريضة و متوسطة عند التردد ($cm^{-}$)

(1596[1] تعود لمط الاصرة (C = O) ʊ [115]. و ظهور حزمة عريضة و مميزة عند التردد($3417cm^{-1}$) العائدة لمط الاصرة ʊ(O-H) [116] [119,118]




**الشكل (35.2) يوضح طيف الاشعة تحت الحمراء فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$) النانوي**

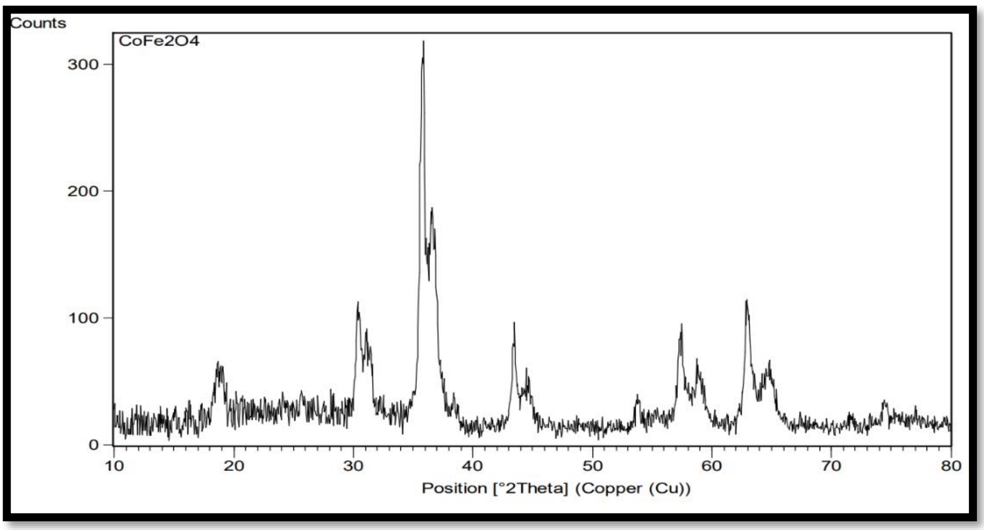
## 2.1.2.3.2 تشخيص فريت الكوبلت ($CoFe_2O_4$) النانوي بواسطة حيود الأشعة السينية

## Characterization of cobalt ferrite ($CoFe_2O_4$) nanoparticles by X-ray diffraction

تم توصيف البنية البلورية للعينات لفريت الكوبالت النانوي ($CoFe_2O_4$) المحضرة بواسطة حيود الأشعة السينية كما مبين في الشكل (36.2) تم تطابق طيف حيود الاشعة السينية فريت الكوبالت المحضر مع الطيف القياسي ($CoFe_2O_4$) مع بيانات(ICDD) المركز الدولي الحيود الاشعة السينية card no:22-1086 [117]. تم الكشف عن فريت الكوبالت النانوي ($CoFe_2O_4$) بواسطة قمم الحيود (20) و (31) و (35) و (36) و (45) و (46) و (57) (59) (63) (65)[118] . تم حساب متوسط الحجم البلوري فريت الكوبالت النانوي كانت بمقدار 20.17 نانومتر باستخدام معادلة ( Debye-Scherer) [72]، كما هو موضح في معادلة ديباي جدول (6.2).

جدول (6.2) يوضح حساب متوسط الحجم الحبيبي فريت الكوبالت النانوي

| K | λ (Å) | Peak position 2θ (°) | FWHM $B_{size}$ (°) | Dp (nm) | Dp Average (nm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.94 | 1.54178 | 18.7852 | 0.984 | 8.55 | 20.17 |
| | | 30.4039 | 0.2952 | 29.15 | |
| | | 31.1387 | 0.5904 | 14.60 | |
| | | 35.8091 | 0.3936 | 22.17 | |
| | | 36.6179 | 0.492 | 17.78 | |
| | | 43.4312 | 0.2952 | 30.28 | |
| | | 44.5535 | 0.6888 | 13.03 | |
| | | 53.8078 | 0.2952 | 31.54 | |
| | | 57.3604 | 0.3936 | 24.05 | |
| | | 58.8827 | 0.5904 | 16.15 | |
| | | 62.9773 | 0.3936 | 24.74 | |
| | | 64.7034 | 0.7872 | 12.49 | |
| | | 74.4631 | 0.5904 | 17.66 | |

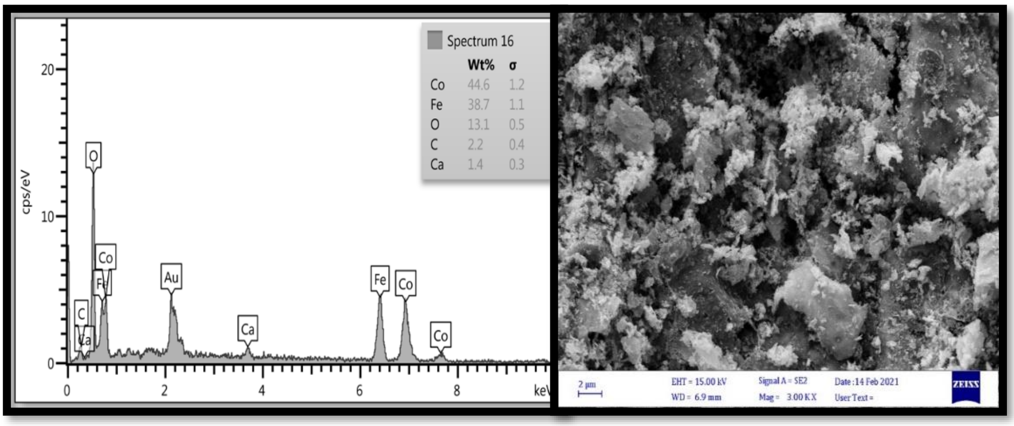



الشكل (36.2) يوضح طيف حيود الاشعة السينية ل فريت الكوبالت النانوي ($CoFe_2O_4$)

## 3.1.2.3.2 تشخيص فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$) النانوي بواسطة الأشعة السينية المشتتة للطاقة

## Characterization of cobalt ferrite ($CoFe_2O_4$) nanoparticles by energy dispersive X-ray (EDX)

تم تشخيص نسبة العناصر الموجودة في فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$) النانوي بواسطة الأشعة السينية المشتتة للطاقة EDX، كما هو مبين في الشكل (37.2) وأظهرت النتائج وجود الكوبالت بنسبة (44.6%) والحديد (38.7%). و جود نسب قليلة جدا لكل من عنصر الاوكسجين و الكاربون و الكالسيوم و مادة الأسبنيل المحضرة ذات نقاوة جيدة .[119]



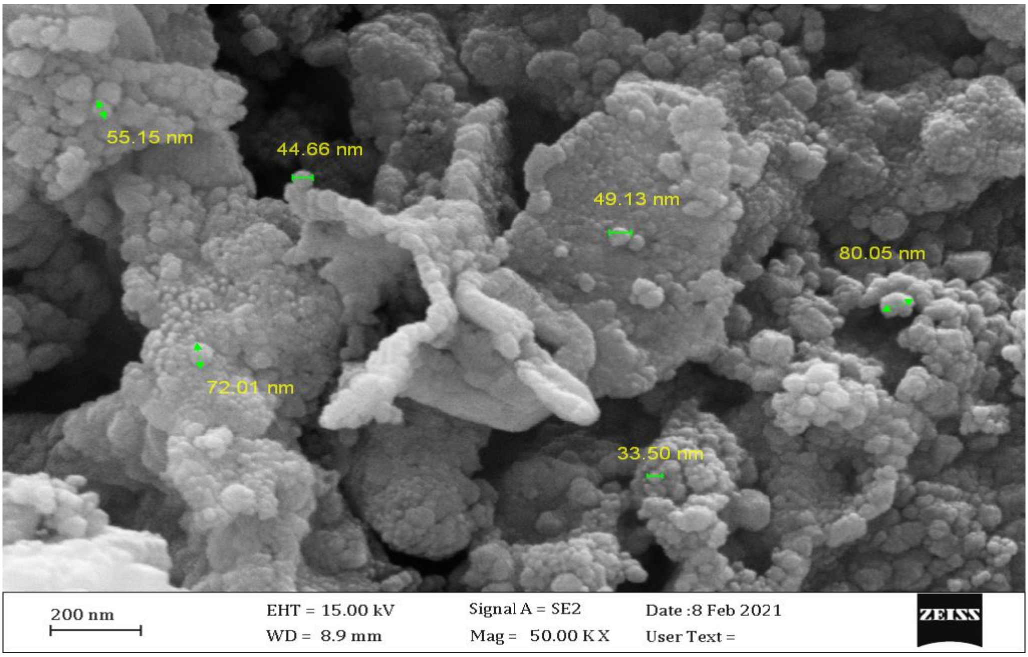

**الشكل (37.2) يوضح طيف الأشعة السينية المشتتة للطاقة فريت الكوبلت $CoFe_2O_4$**

## 4.1.2.3.2 تشخيص فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$) النانوي بواسطة مجهر المسح الالكتروني

## Characterization of cobalt ferrite ($CoFe_2O_4$) by scanning electron microscope (SEM)

تم دراسة التراكيب المورفولوجية والهيكلية فريت الكوبالت النانوي ($CoFe_2O_4$) بأستخدام المجهر الالكتروني الماسح SEM يوضح الشكل (38.2) أن الجسيمات فريت الكوبالت النانوي المحضرة تكون ضمن نطاق النانومتر وأظهرت صور SEM إلى أن بعض الحبيبات النانوية مفصولة جيدًا عن بعضها البعض بينما كان معظمها موجودًا في شكل متكتل يعود هذا التكتل الى التأثيرات الالكتروستاتيكية وهذا يتفق مع سلوك مشابه لتكتل

الجسيمات النانوية في دراسات سابقة ويبلغ معدل قطر هذه الجسيمات حوالي 55.75 نانومتر [120]

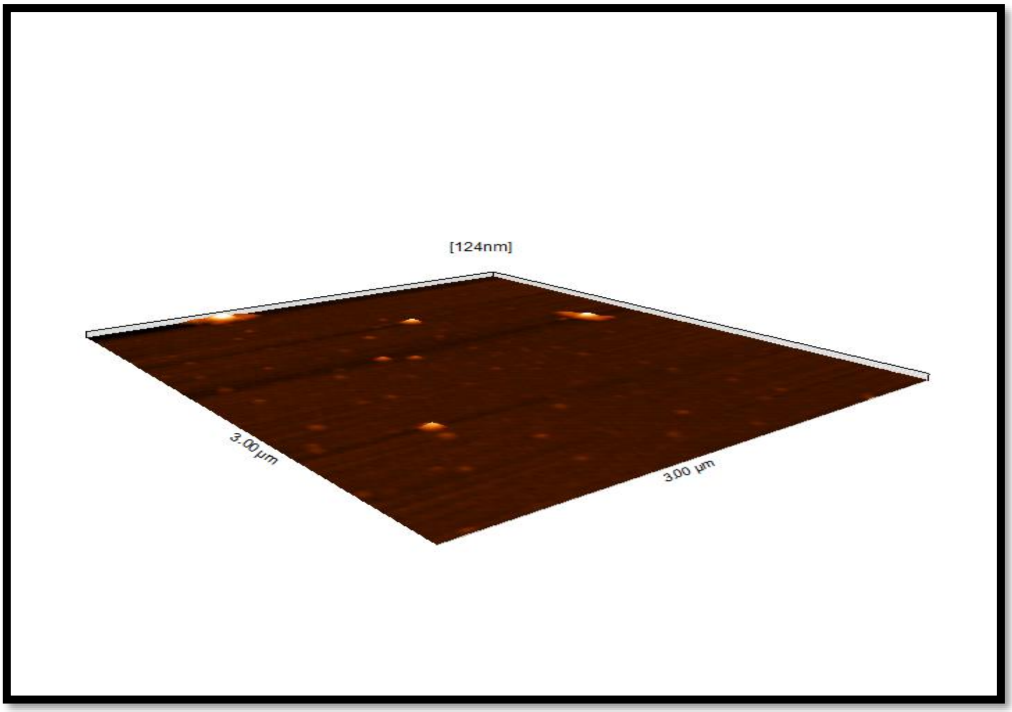



**الشكل (38.2) يوضح المجهر الالكتروني الماسح (SEM) فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$)**

## 5.1.2.3.2 تشخيص فريت الكوبلت ($CoFe_2O_4$) النانوي بواسطة مجهر القوة الذرية

## Characterization of cobalt ferrite ($CoFe_2O_4$) nanoparticles by atomic force microscopy (AFM)

تم تحليل فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$) النانوي المحضر باستخدام مجهر القوة الذرية (AFM) وان معدل الحجم للحبيبات (Ave. Diameter) كان (124nm) نانو متر ومتوسط الخشونة (Sa. Roughness average) كانت (178pm) بيكو متر و كان (Sq.Root mean square) معدل الجذر التربيعي (471pm) بيكو متر|، كما يظهر في الشكل (39.2) [121,122]




**الشكل (39.2) صورة مجهر القوة الذرية (AFM) فريت الكوبالت النانوي($CoFe_2O_4$)**

### 6.1.2.3.2 الفعالية المضادة للبكتريا لفريت الكوبالت النانوي ($CoFe_2O_4$) تجاه E. coli

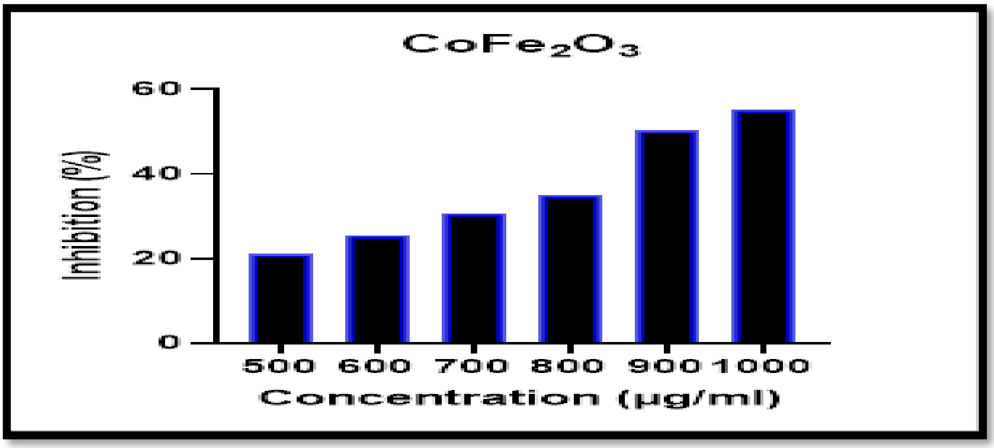
### Antibacterial activity of nano cobalt ferrite ($CoFe_2O_4$)|against E. coli

تم دراسة تأثير اضافة تراكيز مختلفة ل فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$) النانوي على تثبيط نمو بكتريا E. coli كما مبين في جدول (7.2) وشكل (40.2) حيث إذ يلحظ وجود علاقة طردية بين تركيز ($CoFe_2O_4$) ونسبة تثبيط نمو البكتريا، إذ بلغت أعلى نسبة تثبيط عند 55.3% في تركيز (1000µg/ml). في حين بلغت أقل نسبة تثبيط 21% في تركيز (500µg/ml) وأظهرت نتائج التحليل الإحصائي فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$) على تثبيط نمو بكتريا E. coli باستعمال برنامج (Graph Pad Prism 8.0) واستخدم تحليل (correlation) لاستدلال على المعنوية بلغ قيمة ($P\text{-value}< 0.0005$) وهناك فرق معنوي كبير بين التركيز ونسبة بقاء الخلايا Significant diff. Among means (P

yes (p < 0.05) وكانت قيمة R square تساوي (0.9500) مما يدل على وجود علاقة ارتباطية قوية بين تثبيط نمو بكتريا E. coli وزيادة التركيز ($CoFe_2O_4$).

**جدول (7.2) يبين تأثير فعالية فريت الكوبالت اتجاه البكتيريا**

| Compound | Inhibition (%) Mean±SD | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Concentration (µg/ml) | | | | | |
| | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| $CoFe_2O_4$ | 21±0.91 | 25.5±1.22 | 30.7±0.29 | 35±2.10 | 50.4±1.73 | 55.3±4.61 |




**الشكل (40.2) يوضح تأثير تركيز فريت الكوبلت النانوي على نمو E. coli**

اظهر فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$) النانوي نشاط مضاد للجراثيم الإشريكية القولونية. هذه النتائج مهمة في فهم آثارها في الدراسات السمية [123] له نشاط مضاد للجراثيم ضد مسببات الأمراض السريرية المقاومة للأدوية المتعددة. وبالتالي يمكن استخدام هذه الجسيمات النانوية كأداة لمكافحة والسيطرة على تفشي الأمراض التي تهدد الحياة [124]. حيث تم إعاقة نمو بكتيريا E. coli بشكل كامل عن طريق زيادة تركيزات فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$) النانوي. ويعد مرشحا واعدًا كعامل مضاد للجراثيم في التطبيقات البيئية [125].

## 7.1.2.3.2 اختبار سمية فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$) النانوي على خط الخلايا HUVEC

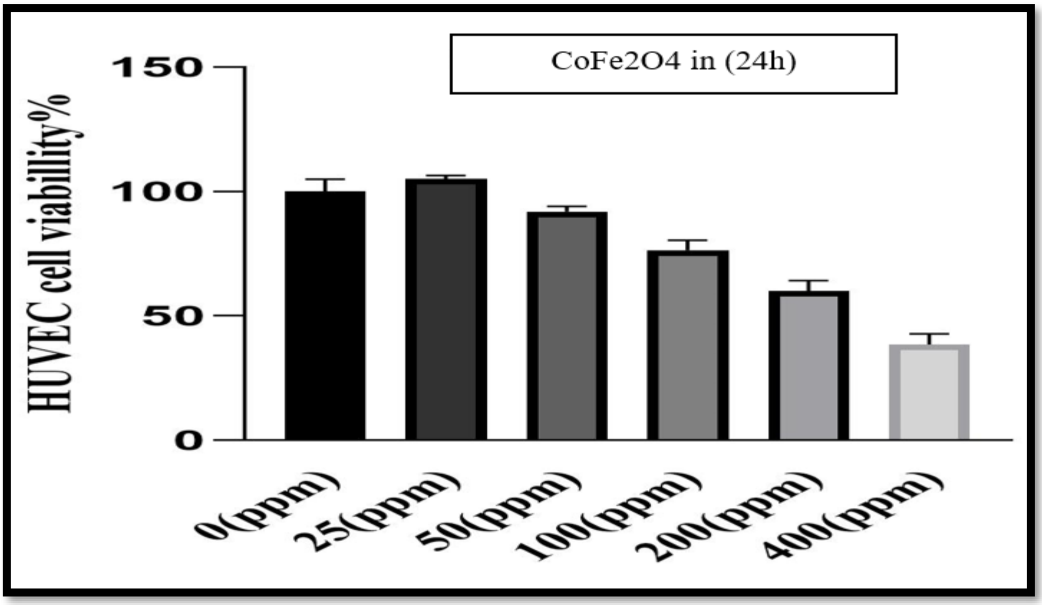
## Toxicity test of nano cobalt ferrite ($CoFe_2O_4$) on HUVEC cells

تمت دراسة سمية الخلوية لجسيمات فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$) النانوي على خطوط خلايا HUVECوذلك من خلال اجراء اختبار MTT في تراكيز مختلفة من (400,200,100,50,25µg/ml) خلال 24 و48 ساعة بالمقارنة مع المجموعة الضابطة. أظهرت النتائج تركيز نسبة بقاء خلايا HUVEC بعد مرور 24 ساعة من اضافة فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$) النانوية عند تركيز (25µg/ml) كانت 105.06% ،مما يدل على عدم تأثير هذا التركيز القليل على الخلايا HUVEC لكن نجد أن نسبة بقاء الخلايا HUVEC عند تركيز (50µg/ml) كانت91.90% اذ قلت النسبة مما يدل على أن هناك علاقة بين زيادة التركيز ونسبة الفعالية او القتل بينما نسبة بقاء الخلايا عند تركيز (100µg/ml )كانت 76.49% وفي تركيز(200 µg/ml) كانت نسبة بقاء الخلايا HUVEC 59.96% لكن عند تركيز (400µg/ml) كانت نسبة بقاء الخلايا HUVEC 38.54% مما يدل على نقصان عدد الخلايا الحية بنسبة اكثر من النصف ، كما مبين في جدول (8.2) و شكل (41.2).

**جدول (8.2) يبين السمية الخلوية فريت الكوبالت النانوي في 24 ساعة لخلايا HUVEC**

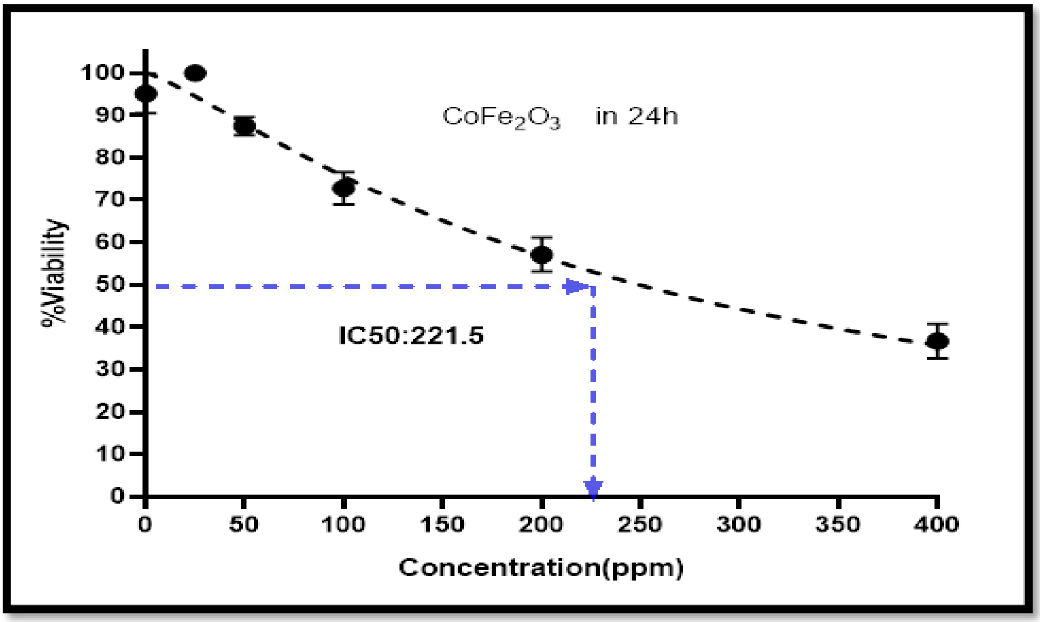
| Concentration | R1% | R2% | R3% | Mean % | SD |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 95.6133 | 99.06304 | 105.3237 | 100 | 4.922536 |
| 25 | 106.6014 | 104.1738 | 104.4293 | 105.0682 | 1.33394 |
| 50 | 94.33561 | 89.99149 | 91.39694 | 91.90802 | 2.216698 |
| 100 | 72.23169 | 77.08689 | 80.15333 | 76.49064 | 3.994336 |

| 200 | 64.31006 | 55.87735 | 59.7104 | 59.96593 | 4.222158 |
|---|---|---|---|---|---|
| 400 | 42.71721 | 34.15673 | 38.75639 | 38.54345 | 4.28421 |




**شكل (41.2) اختبار MTT ل فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$) النانوي على HUVEC في 24 ساعة**

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي فريت الكوبالت النانوية ($CoFe_2O_4$) على خلايا الجلد HUVEC في 24 ساعة باستعمال برنامج (Graph Pad Prism 8.0) استخدم تحليل التباين وحيد الاتجاه (One way ANOVA) لاستدلال على المعنوية حيث بلغت قيمة (P-value< 0.0007) وهناك فرق معنوي كبير بين التركيز ونسبة بقاء الخلايا (Significant diff. Among means (P < 0.05) yes) وكانت قيمة R square تساوي (0.9381) مما يدل على وجود علاقة ارتباطية قوية بين المتغيرات كما تم قياس تركيز للتثبيط النصفي half maximal inhibitory concentration (IC50) فريت الكوبالت النانوي على خلايا HUVEC في 24 ساعة باستعمال برنامج ( Graph Pad Prism 8.0) استخدام تحليل normalized response وكانت قيمة (IC50=221) ، كما مبين في الشكل (42.2)



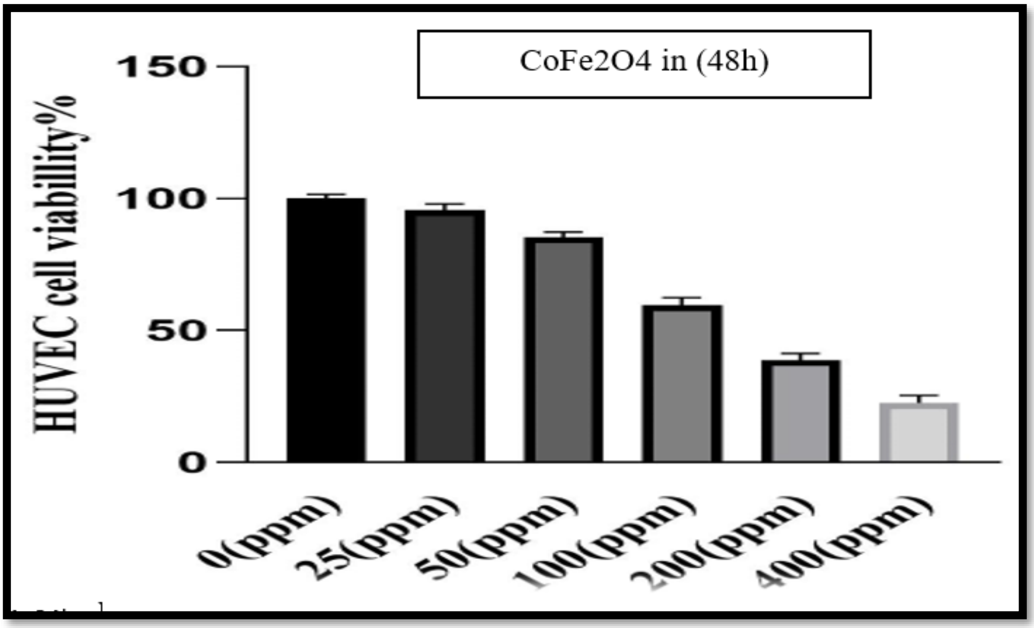

**الشكل (42.2) IC50 ل فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$) النانوي في 24 ساعة**

بينما أظهرت النتائج الواردة في جدول (9.2) السمية الخلوية وتم فحصها في تراكيز مختلفة (من 25 إلى 400 ميكروجرام/مل) بالمقارنة مع المجموعة الضابطة أظهرت النتائج ان تركيز نسبة بقاء الخلايا HUVEC بعد مرور48 ساعة من اضافة فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$) النانوية عند تركيز(25µg/ ml) كانت 95.55% مما يدل على أن هناك علاقة بين عامل الوقت والتركيز على نسبة بقاء الخلايا HUVEC لكن نجد أن نسبة بقاء الخلايا HUVEC عند تركيز(50µg/ ml) كانت85.28% قلت النسبة ، مما يدل على أن هناك علاقة بين زيادة التركيز ونسبة الفعالية أو القتل بينما نسبة بقاء الخلايا عند تركيز (100 µg/ ml)كانت 59.43% إذ حيث يظهر أن النسبة قلت وفي تركيز (200 µg/ml)كانت نسبة بقاء الخلايا HUVEC 38.69% إذ حيث يظهر أن النسبة قلت الى النصف لكن عند تركيز(400 µg/ml) كانت نسبة بقاء الخلايا HUVEC 22.52% مما يدل على نقصان عدد الخلايا الحية بنسبة أكثر من النصف ، كما مبين في جدول (9.1) و الشكل (43.2)

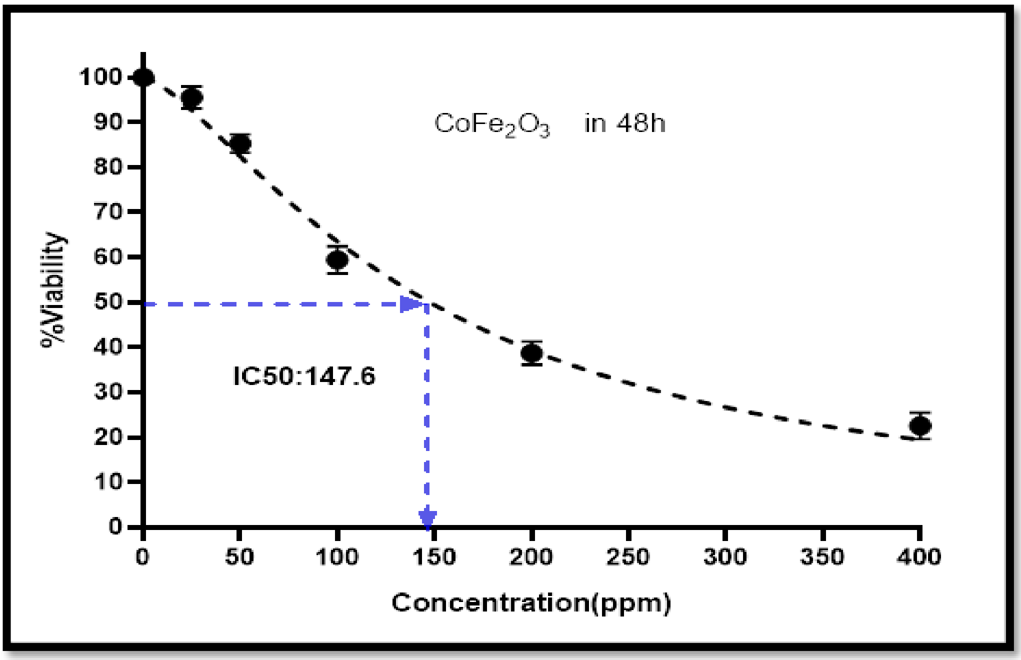
**جدول (9.2) يبين السمية الخلوية فريت الكوبالت النانوي في 48 ساعة لخلايا HUVEC**

| Concentration | R1% | R2% | R3% | Mean % | SD |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 101.8288 | 98.83625 | 99.335 | 100 | 1.603267 |
| 25 | 93.84872 | 94.47216 | 98.33749 | 95.55279 | 2.431688 |
| 50 | 83.99834 | 84.24772 | 87.6143 | 85.28679 | 2.01954 |
| 100 | 59.18537 | 62.55196 | 56.56692 | 59.43475 | 3.000302 |
| 200 | 41.60433 | 36.6168 | 37.86368 | 38.69493 | 2.595594 |
| 400 | 19.40981 | 25.27016 | 22.90108 | 22.52702 | 2.948028 |

بينما أظهرت نتائج التحليل الإحصائي فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$) النانوية على خلايا HUVEC في 48 ساعة حيث بلغت قيمة (P-value< 0.0026) وهناك فرق معنوي كبير بين التركيز ونسبة بقاء الخلايا ( Significant diff. Among means (P < 0.05) yes) وكانت قيمة R square تساوي (0.8837) مما يدل على وجود علاقة ارتباطية قوية بين المتغيرات. كما تم قياس تركيز للتثبيط النصفي half maximal inhibitory concentration (IC50) فريت الكوبالت النانوي على خلايا HUVEC في 48 ساعة باستعمال برنامج ((Graph Pad Prism 8.0) استخدام تحليل normalized response وكانت قيمة (IC50=147)، كما مبين في الشكل (44.2)




شكل (43.2) اختبار MTT ل فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$) النانوي على HUVEC في 48 ساعة




الشكل (44.2) IC50 ل فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$) النانوي في 48 ساعة

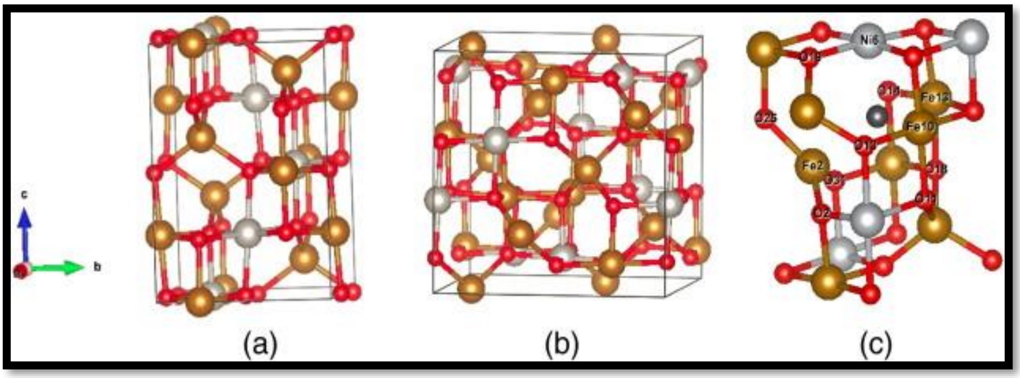
الجسيمات النانوية المغناطيسية (MNPs) هي إحدى الفئات الفرعية لـ المواد النانوية ، التي تستخدم على نطاق واسع في التطبيقات الطبية الحيوية فريت الكوبالت ($CoFe_2O_4$)وجد له تطبيقات واسعة في التصوير (MRI) ، وعلاج السرطان كما أن السوائل الممغنطة لها دورا مهما في توصيل الأدوية وكذلك في تشخيص الامراض وفي الأجهزة الإلكترونية بسبب من نفاذية عالية [101]والخصائص المضادة للبكتيريا يؤدي الاستخدام الواسع النطاق لـ CoFe2O4 NPs إلى التخلص من النفايات في البيئة ، مما يثير حالة مقلقة للنظام البيئي العالمي. يمكن المواد العضوية الطبيعية تعزيز تدهور $CoFe_2O_4$ NPs مما يؤدي إلى إطلاق محتمل من أيونات $Co^{2+}$ و $Fe^{3+}$ في البيئة. يمكن أن يسبب الإجهاد التأكسدي بوساطة) ROS ، السمية الخلوية، السمية الجينية، الالتهابات وتسبب أكسدة البروتينات واضطرابات الغشاء لذلك، هناك حاجة ملحة لدراسة السمية المحتملة التأثيرات من خلال إطلاق CoFe2O4 NPs والذوبان اللاحق من الأيونات من NPS تحت تصرف البيئة.
NPsالكوبالت الفريت تحفز الاستجابات السامة (السمية الخلوية& السمية الجينية) في الكائنات الحية ؛ البشر الفئران [126]وغينيا خنزير يسبب NPs (CoFe2O4) انخفض انتشار الحركات الخلوية المحظورة وزيادة الخلايا الليمفاوية الدقيقة ثنائية النواة .( CoFe2O4 تحفز NPS الإجهاد التأكسدي في خنازير غينيا ورئتي الإنسان والكبد (الإنسان والفئران) والكلى والأمعاء أثبتت CoFe2O4 NPs أيضًا أنها مميتة للأغشية الاصطناعية والبيولوجية. هذه النتائج جوهرية فيما يتعلق بقضايا الصحة والسلامة البيئية المعنية مع تطبيق CoFe2O4 NPs في الطب[127] تتداخل هذه NPs أيضًا مع استقلاب الدهون وتمايز الخلايا النطاق الواسع للتركيبات والخصائص الفيزيائية والكيميائية لـ NPs يجعلها في كل مكان. إذن هذه التراكيب الفريدة والخصائص الفيزيائية والكيميائية (الاستقرار، والنقاوة، والحجم، والشكل والشحنة، وما إلى ذلك) تحدد تفاعلاتها مع المواد البيولوجية الأخرى وطريقة السمية.[128]

## 2.2.3.2 فريت النيكل النانوي $NiFe_2O_4$

## Nickel ferrite Nanoparticles $NiFe_2O_4$

إنها مادة ماصة بسبب توافقها الحيوي الجيد، وخصائصها المغناطيسية الفائقة القوية، والسمية المنخفضة، والتحضير السهل، والقدرة العالية على الامتصاص. تُظهر $NiFe_2O_4$ NPs ذات البنية العكسية المغناطيسية الحديدية لمركب الاسبنيل التي تنشأ من اللحظة المغناطيسية للدوران المضاد الموازي بين أيونات $Fe^{3+}$ في مواقع رباعية السطوح وأيونات

$Ni^{+2}$ في مواقع ثماني السطوح. تُظهر $NiFe_2O_4$ NPs مساحة سطح عالية ومقاومة منخفضة لنقل الكتلة. يعتمد السلوك المغناطيسي لهذه الجسيمات النانوية في الغالب على حجمها [129]. تعتبر الجسيمات النانوية المصنوعة من الفريت الإسبنيل مثل $NiFe_2O_4$ مواد مغناطيسية مهمة للغاية بسبب مقاومتها العالية واستقرارها الحراري. يمكن إستخدامها في مجموعة واسعة من التطبيقات، ظهرت الجسيمات النانوية المغناطيسية (MNPs) كدعامات صلبة جذابة للتحفيز ويستخدم في تصميم الأدوية نظرًا لأنه يتم التعرف عليه بسهولة من خلال الأحماض الأمينية والبروتينات والحمض النووي والكربوهيدرات في الجسم الحي. [130]



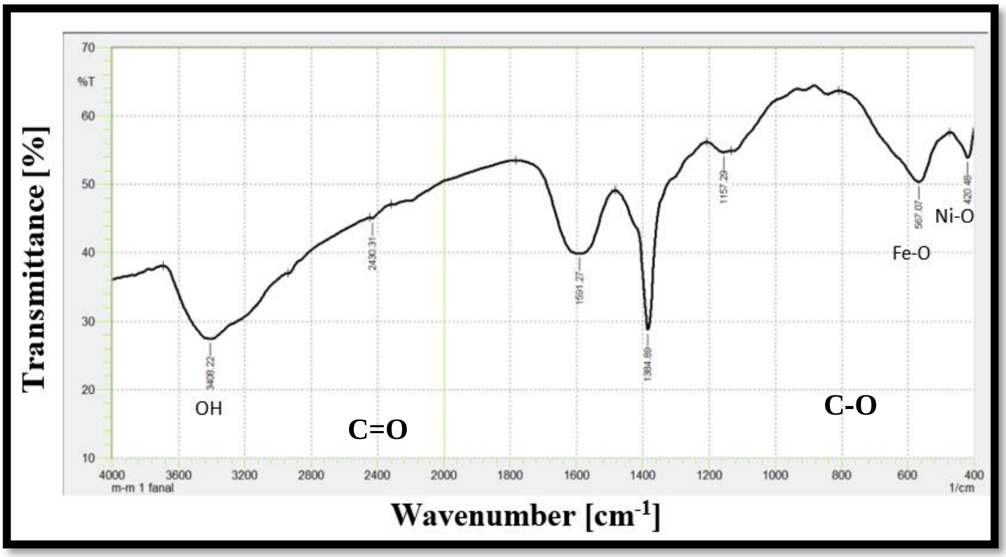

**الشكل (45.2). الخلية البدائية (A)، والخلية التقليدية (B)، من النوع α من النوع العكسي للهيكل البلوري الإسبنيل من $NiFe_2O_4$. (C) البنية الموضعية لشاغر الأكسجين (الكرة السوداء) في الخلية التقليدية ،** [131]

## 1.2.2.3.2 تشخيص فريت النيكل ($NiFe_2O_4$) النانوي بواسطة طيف الاشعة تحت الحمراء

## Characterization of Nickel ferrite ($NiFe_2O_4$) nanoparticles by FTIR

شخص فريت النيكل ($NiFe_2O_4$) النانوي عن طريق تتبع طيف الأشعة تحت الحمراء (FT-IR) له ومقارنته بطيف املاح $Ni(NO_3)_2.6H_2O$ و $Fe(NO_3)_3.9H_2O$ ، كما موضح بالشكل (46.2) [132]. ظهور حزمة حادة ومتوسطة عند التردد ($420cm^{-1}$) تعود لمط الاصرة (Ni-O) υ وحزمة أخرى حادة وطويلة عند التردد ($567cm^{-1}$) تعود

لمط الاصرة (Fe-O) Ʊ [133–135] ، كما لوحظ حزمة حادة وطويلة عند التردد ($1384cm^{-1}$) تعود لمط الاصرة (C-O) Ʊ وحزمة عريضة ومتوسطة عند التردد ($cm^{-}$ $1591^{1}$) تعود لمط الاصرة (C = O) Ʊ. وظهور حزمة عريضة ومميزة عند التردد($cm^{-}$ $3408^{1}$) العائدة لمط الاصرة Ʊ(O-H) [136]




**الشكل (46.2) يوضح طيف الاشعة تحت الحمراء لفريت النيكل ($NiFe_2O_4$) النانوي**

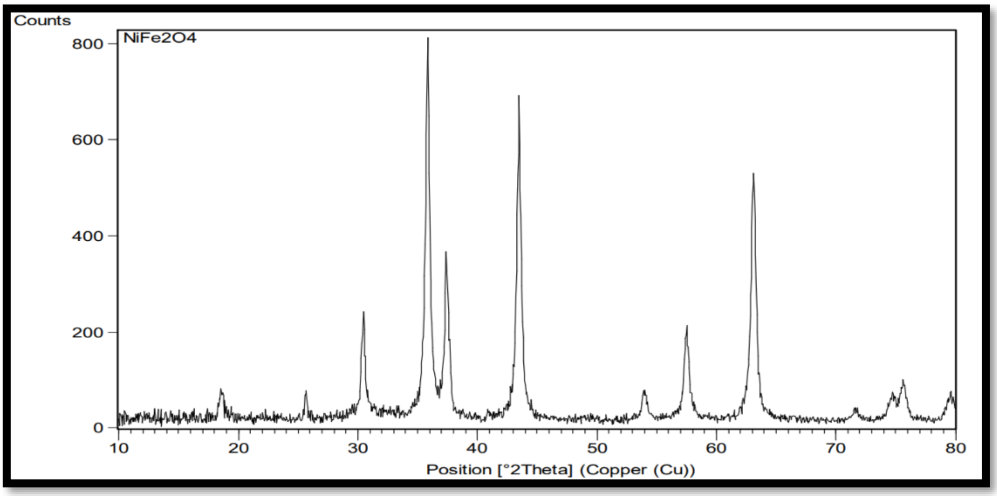
## 2.2.2.3.2 تشخيص فريت النيكل ($NiFe_2O_4$) النانوي بواسطة حيود الأشعة السينية

## Characterization of Nickel ferrite ($NiFe_2O_4$) nanoparticles by X-ray diffraction

تم توصيف البنية البلورية للعينات لفريت النيكل النانوي ($NiFe_2O_4$) المحضرة بواسطة حيود الأشعة السينية كما مبين في الشكل (47.2) تم تطابق طيف حيود الاشعة السينية فريت النيكل المحضر مع الطيف القياسي ($NiFe_2O_4$) مع بيانات(ICDD) المركز الدولي الحيود الاشعة السينية card no: 742081 [137]. تم الكشف عن فريت النيكل النانوي ($NiFe_2O_4$) بواسطة قمم الحيود وهي (18) و (26) و (31) و (36) و (38) و (43) و (54) و (57) و (63) و (72) و (77)، على التوالي. تم حساب متوسط الحجم البلوري فريت النيكل النانوي كانت بمقدار 30.70 نانومتر باستخدام معادلة ( Debye-Scherer) [118,138]، كما هو موضح في جدول (10.2)حسب معادلة ديباي.

جدول (10.2) يوضح حساب متوسط الحجم الحبيبي فريت النيكل النانوي

| K | λ (Å) | Peak position 2θ (°) | FWHM $B_{size}$ (°) | Dp (nm) | Dp Average (nm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.94 | 1.54178 | 18.5544 | 0.3936 | 21.38 | 30.70 |
| | | 25.6619 | 0.1476 | 57.70 | |
| | | 30.442 | 0.2952 | 29.15 | |
| | | 35.8338 | 0.246 | 35.48 | |
| | | 37.423 | 0.1968 | 44.55 | |
| | | 43.4679 | 0.2952 | 30.28 | |
| | | 53.9703 | 0.3936 | 23.67 | |
| | | 57.5005 | 0.3936 | 24.06 | |
| | | 63.1015 | 0.2952 | 33.01 | |
| | | 71.6516 | 0.5904 | 17.35 | |
| | | 74.7739 | 0.492 | 21.24 | |
| | | 75.6695 | 0.3444 | 30.53 | |

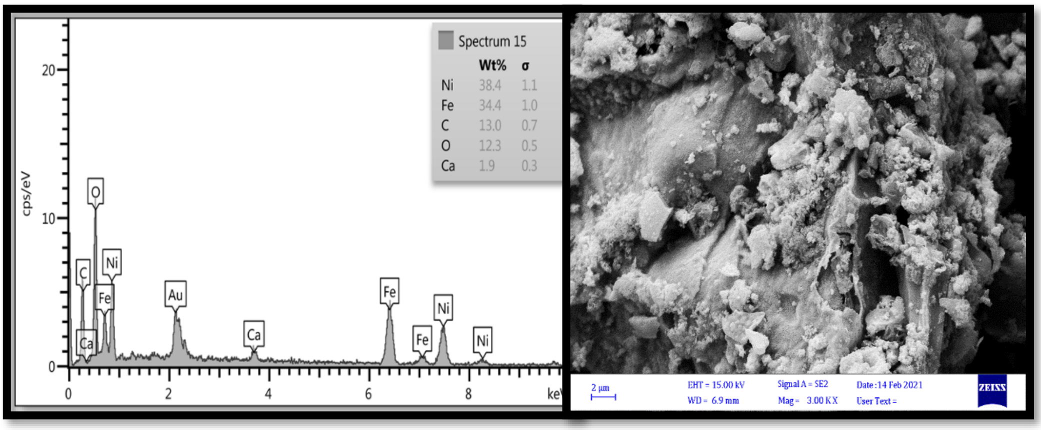



الشكل (47.2) يوضح طيف حيود الاشعة السينية ل فريت النيكل النانوي ($NiFe_2O_4$)

## 3.2.2.3.2 تشخيص فريت النيكل $(NiFe_2O_4)$ النانوي بواسطة الأشعة السينية المشتتة للطاقة

## Characterization of Nickel ferrite $(NiFe_2O_4)$ nanoparticles by energy dispersive X-ray (EDX)

تم تشخيص نسبة العناصر الموجودة في فريت النيكل $(NiFe_2O_4)$ النانوي بواسطة الأشعة السينية المشتتة للطاقة EDX، كما هو مبين في الشكل (48.2) وأظهرت النتائج وجود النيكل بنسبة (38.4%) والحديد (34.4%). و جود نسب قليلة جدا لكل من عنصر الكاربون والأوكسجين و الكالسيوم و مادة الأسبنيل المحضرة ذات نقاوة جيدة [119,139]



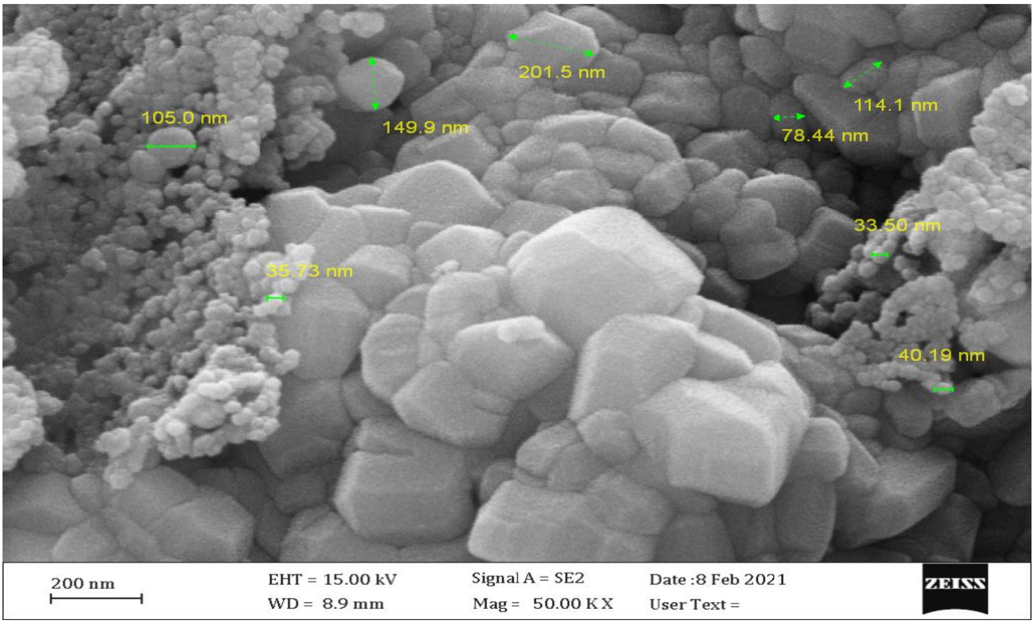

**الشكل (48.2) يوضح طيف الأشعة السينية المشتتة للطاقة فريت النيكل $NiFe_2O_4$**

## 4.2.2.3.2 تشخيص فريت النيكل $(NiFe_2O_4)$ النانوي بواسطة مجهر المسح الالكتروني

## Characterization of nickel $(NiFe_2O_4)$ nanoparticles by scanning electron microscope (SEM)

تم دراسة التراكيب المورفولوجية والهيكلية فريت النيكل النانوي $(NiFe_2O_4)$ بأستخدام المجهر الإلكتروني الماسح SEM يوضح الشكل (49.2) أن الجسيمات فريت النيكل النانوي المحضرة تكون ضمن نطاق النانومتر وأظهرت صور SEM إلى أن بعض الحبيبات النانوية مفصولة جيدًا عن بعضها البعض بينما كان معظمها موجودًا في شكل متكتل يعود هذا التكتل الى التأثيرات الالكتروستاتيكية وهذا يتفق مع سلوك مشابه لتكتل

الجسيمات النانوية في دراسات سابقة ويبلغ معدل قطر هذه الجسيمات حوالي 94.795 نانومتر. [140]

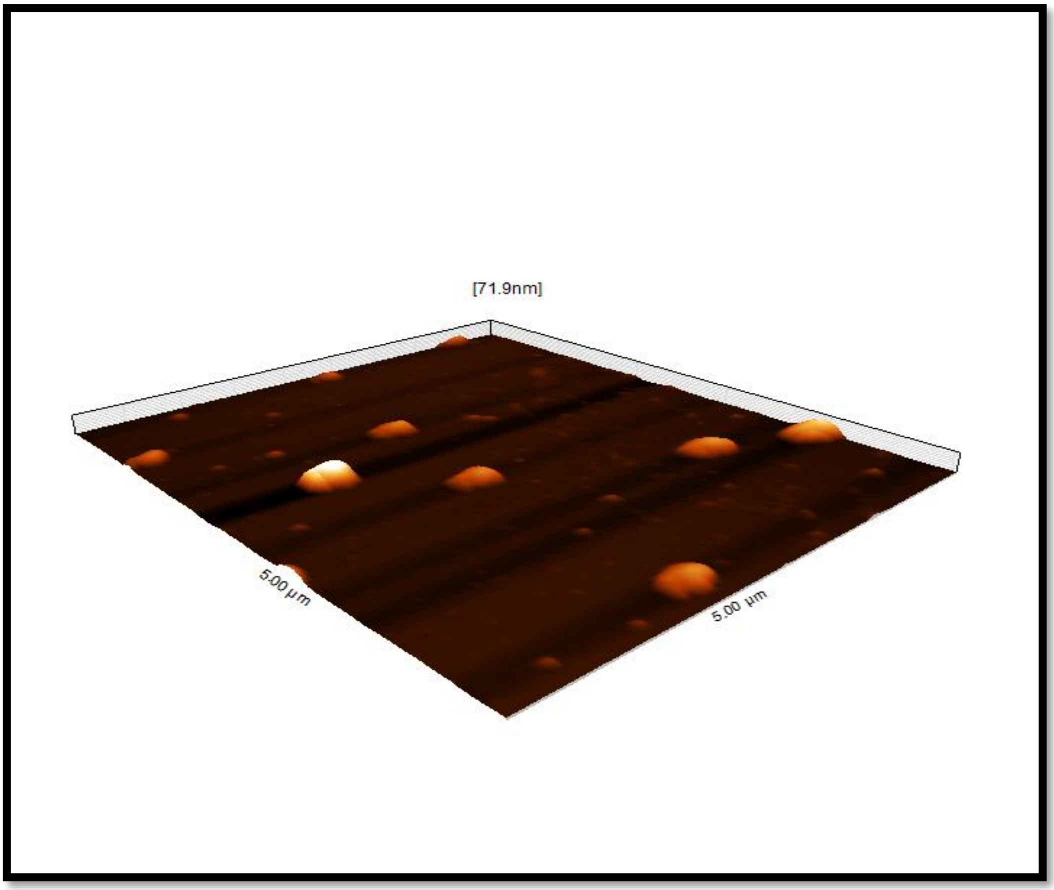



**الشكل (49.2) يوضح المجهر الالكتروني الماسح (SEM) فريت النيكل ($NiFe_2O_4$)**

## 5.2.2.3.2 تشخيص فريت النيكل ($NiFe_2O_4$) النانوي بواسطة مجهر القوة الذرية

## Characterization of nickel ferrite ($NiFe_2O_4$) nanoparticles by atomic force microscopy (AFM)

تم تحليل فريت النيكل ($NiFe_2O_4$) النانوي المحضر باستخدام مجهر القوة الذرية (AFM) وأن معدل الحجم للحبيبات (Ave. Diameter) كان (71.9 nm) نانو متر ومتوسط الخشونة (Sa. Roughness average) كانت (207pm) بيكو متر و كان ( Sq.Root mean square) معدل الجذر التربيعي (351pm) بيكو متر ،كما يظهر في الشكل (50.2). [117,141]




**الشكل (50.2) صورة مجهر القوة الذرية (AFM) فريت النيكل النانوي ($NiFe_2O_4$)**

## 6.2.2.3.2 الفعالية المضادة للبكتريا لفريت النيكل النانوي تجاه E. coli

## Antibacterial activity of nano-nickel ferrite against E. coli

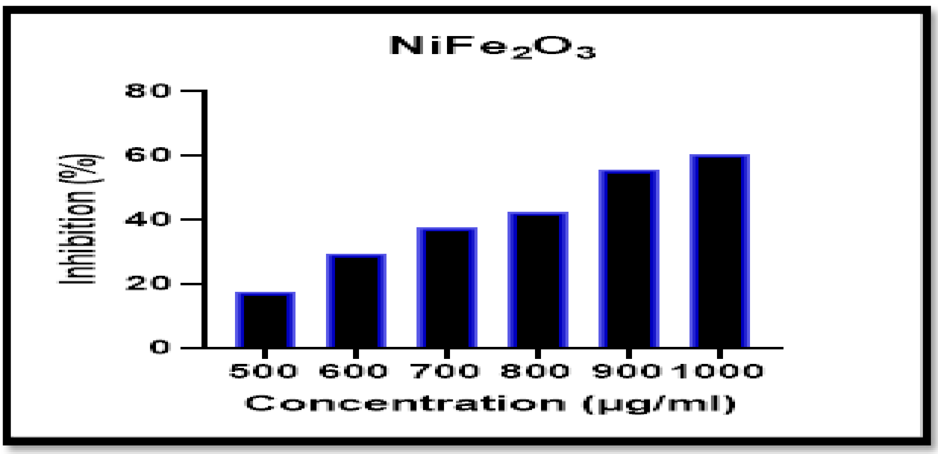
تم دراسة تأثير إضافة تراكيز مختلفة ل فريت النيكل ($NiFe_2O_4$) النانوي على تثبيط E. coli كما مبين في جدول (11.2) وشكل (51.2)، حيث يلحظ وجود علاقة طردية بين تركيز ($NiFe_2O_4$) ونسبة تثبيط نمو البكتريا اذ بلغت أعلى نسبة تثبيط 60.4% في تركيز (1000µg/ml). في حين بلغت أقل نسبة تثبيط 17.6% في تركيز (500µg/ml) وأظهرت نتائج التحليل الإحصائي فريت النيكل ($NiFe_2O_4$) على تثبيط نمو بكتريا E.

coli باستعمال برنامج (Graph Pad Prism 8.0) واستخدم تحليل (correlation) لاستدلال على المعنوية بلغ قيمة (P-value< 0.0001) وهناك فرق معنوي كبير بين التركيز ونسبة بقاء الخلايا Significant diff. Among means (P < 0.05) yes وكانت قيمة R square تساوي (0.9918) مما يدل على وجود علاقة ارتباطية قوية بين تثبيط نمو بكتريا E. coli وزيادة التركيز ($NiFe_2O_4$).

**جدول (11.2) يبين تأثير فعالية فريت النيكل اتجاه البكتيريا**

| Compound | Inhibition (%) Mean±SD | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Concentration (µg/ml) | | | | | |
| | **500** | **600** | **700** | **800** | **900** | **1000** |
| NiFe2O4 | 17.6±1.51 | 29.5±0.47 | 37.6±0.72 | 42.4±1.94 | 55.7±0.26 | 60.4±0.46 |

اظهر فريت النيكل ($NiFe_2O_4$) النانوي نشاط مضاد للجراثيم الإشريكية القولونية. هذه النتائج مهمة في فهم آثارها في الدراسات السمية [142] مما يشير إلى ذلك ان فريت النيكل ($NiFe_2O_4$) النانوي تأثير مبيد للجراثيم ضد السلالات البكتيرية المختلفة. ويمكن أن يكون للمركب النانوي تطبيق محتمل في تطهير المياه وفيما يتعلق بتحديد انخفاض معدل التآكل في فريت النيكل ($NiFe_2O_4$)، ويكون هذا الهيكل أكثر ملاءمة من $Fe_3O_4$ للتطبيقات الصناعية، أي اقتصاديًا وفعالً [143] فقد أظهر تطبيقات مهمة لتعطيل البكتيريا الشائعة المرتبطة بالمياه ، وكذلك الفيروسات ومسببات الأمراض الأخرى [144] .




**الشكل (51.2) يوضح تأثير تركيز فريت النيكل النانوي على نمو E. coli**

## 7.2.2.3.2 اختبار سمية فريت النيكل ($NiFe_2O_4$) النانوي على خط الخلايا HUVEC

## Toxicity test of nano nickel ferrite ($NiFe_2O_4$) on HUVEC cells

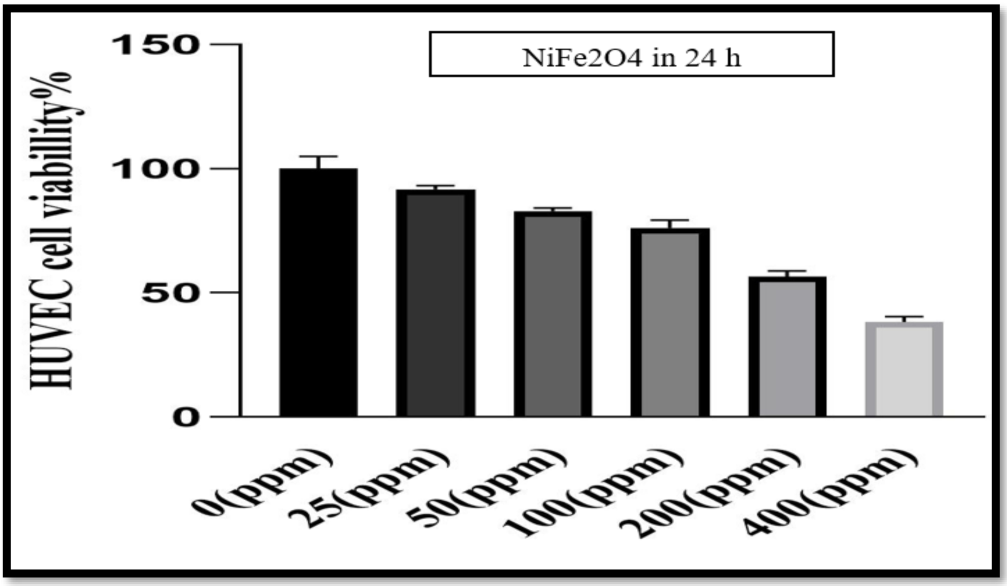
تمت دراسة سمية الخلوية لجسيمات فريت النيكل ($NiFe_2O_4$) النانوي على خطوط خلايا HUVECوذلك من خلال اجراء اختبار MTT في تراكيز مختلفة من (400,200,100,50,25µg/ml) خلال 24 و48 ساعة بالمقارنة مع المجموعة الضابطة. أظهرت النتائج تركيز نسبة بقاء خلايا HUVEC بعد مرور 24 ساعة من إضافة فريت النيكل ($NiFe_2O_4$) النانوية عند تركيز(25µg/ml) كانت 91.65% مما يدل على عدم تأثير هذا التركيز القليل على الخلايا HUVEC لكن نجد أن نسبة بقاء الخلايا HUVEC عند تركيز (50µg/ml) كانت82.87% اذ قلت النسبة مما يدل على أن هناك علاقة بين زيادة التركيز ونسبة الفعالية أو القتل بينما نسبة بقاء الخلايا عند تركيز( 100µg/ml) كانت 76.14% وفي تركيز(200 µg/ml) كانت نسبة بقاء الخلايا HUVEC 56.47% لكن عند تركيز (400µg/ml) كانت نسبة بقاء الخلايا HUVEC 38.28% مما يدل على نقصان عدد الخلايا الحية بنسبة اكثر من النصف ، كما مبين في جدول (12.2) و شكل (52.2).

**جدول (12.2) يبين السمية الخلوية فريت النيكل النانوي في 24 ساعة لخلايا HUVEC**

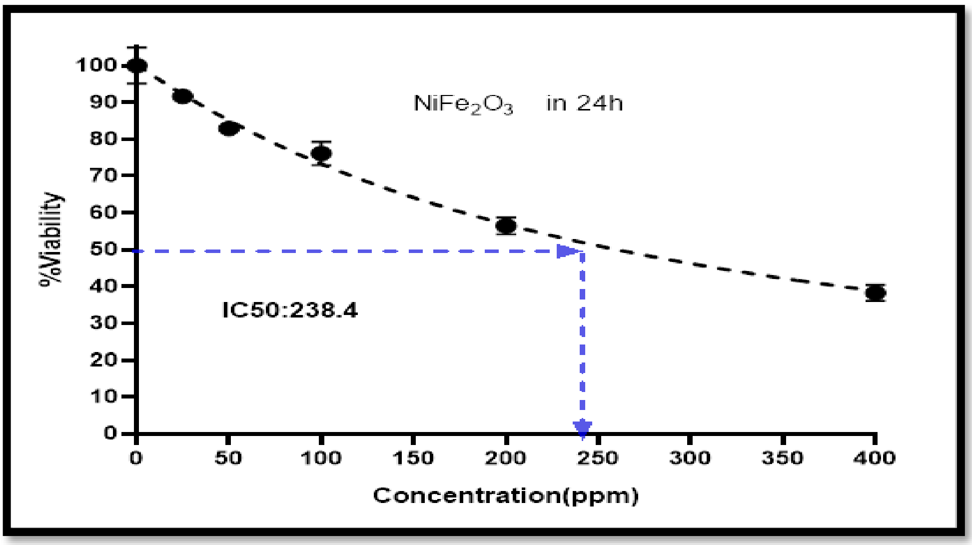
| Concentration | R1% | R2% | R3% | Mean% | SD |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 95.61338 | 99.06313 | 105.3238 | 100.0001 | 4.92254 |
| 25 | 93.44131 | 91.14148 | 90.37487 | 91.65256 | 1.595827 |
| 50 | 82.83654 | 84.24199 | 81.55885 | 82.87913 | 1.342075 |
| 100 | 77.08696 | 78.74795 | 72.61506 | 76.14999 | 3.171987 |
| 200 | 54.08864 | 58.6883 | 56.64401 | 56.47365 | 2.304559 |
| 400 | 40.28965 | 35.94552 | 38.62866 | 38.28795 | 2.192014 |

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي فريت النيكل ($NiFe_2O_4$) النانوي على خلايا HUVEC في 24 ساعة باستعمال برنامج (Graph Pad Prism 8.0) استخدم تحليل التباين وحيد الاتجاه (One way ANOVA) لاستدلال على المعنوية ، إذ حيث بلغت قيمة (0.0005 P-value<) وهناك فرق معنوي كبير بين التركيز ونسبة بقاء الخلايا ( Significant diff. Among means (P < 0.05) yes) وكانت قيمة R square تساوي (0.9498)

مما يدل على وجود علاقة ارتباطية قوية بين المتغيرات كما تم قياس تركيز للتثبيط النصفي half maximal inhibitory concentration (IC50) فريت النيكل النانوي على خلايا HUVEC في 24 ساعة باستعمال برنامج (Graph Pad Prism 8.0) استخدام تحليل normalized response وكانت قيمة (IC50=238)، كما مبين في الشكل (53.2)




**شكل (52.2) اختبار MTT ل فريت النيكل ($NiFe_2O_4$) النانوي على HUVEC في 24 ساعة**



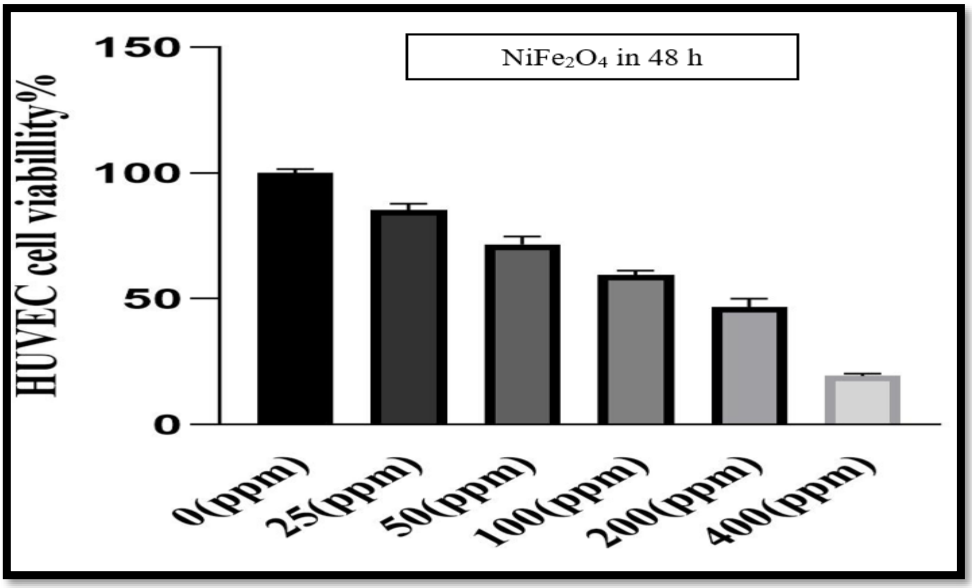

**الشكل (53.2) IC50 ل فريت النيكل ($NiFe_2O_4$) النانوي في 24 ساعة**

بينما أظهرت النتائج الواردة في جدول (13.2) السمية الخلوية وتم فحصها في تراكيز مختلفة (من 25 إلى 400 ميكروجرام/مل) بالمقارنة مع المجموعة الضابطة أظهرت النتائج أن تركيز نسبة بقاء الخلايا HUVEC بعد مرور48 ساعة من اضافة فريت النيكل ($NiFe_2O_4$) عند تركيز(25µg/ ml) كانت 85.28% مما يدل على أن هناك علاقة بين عامل الوقت والتركيز على نسبة بقاء الخلايا HUVEC لكن نجد أن نسبة بقاء الخلايا HUVEC عند تركيز(50µg/ ml) كانت71.65% قلت النسبة مما يدل على أن هناك علاقة بين زيادة التركيز ونسبة الفعالية أو القتل بينما نسبة بقاء الخلايا عند تركيز (100 µg/ ml)كانت 59.43% ، إذ حيث يظهر أن النسبة قلت وفي تركيز(200 µg/ml) كانت نسبة بقاء الخلايا HUVEC 46.71% ، إذ حيث يظهر أن النسبة قلت الى النصف لكن عند تركيز(400 µg/ml) كانت نسبة بقاء الخلايا HUVEC 19.40% مما يدل على نقصان عدد الخلايا الحية بنسبة اكثر من النصف ،كما مبين في جدول (13.2) و الشكل (54.2)

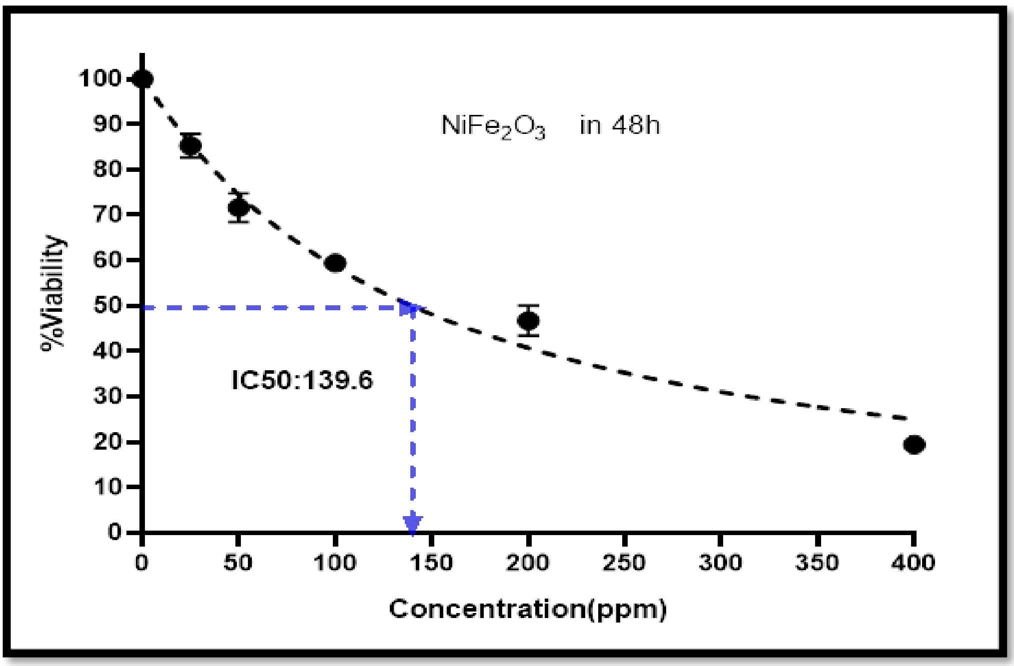
**جدول (13.2) يبين السمية الخلوية فريت النيكل النانوي في 48 ساعة لخلايا HUVEC**

| Concentration | R1% | R2% | R3% | Mean% | SD |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 101.8288 | 98.83628 | 99.33504 | 100 | 1.603267 |
| 25 | 87.24027 | 82.37743 | 86.24277 | 85.28682 | 2.568498 |
| 50 | 74.89613 | 68.53703 | 71.52955 | 71.65424 | 3.181384 |
| 100 | 60.43229 | 57.43978 | 60.43229 | 59.43479 | 1.727731 |
| 200 | 43.22531 | 49.83379 | 47.09065 | 46.71658 | 3.320082 |
| 400 | 18.66172 | 19.16047 | 20.40736 | 19.40985 | 0.89914 |

بينما أظهرت نتائج التحليل الإحصائي فريت النيكل ($NiFe_2O_4$) النانوي على خلايا HUVEC في 48 ساعة، إذ حيث بلغت قيمة (P-value< 0.0014) وهناك فرق معنوي كبير بين التركيز ونسبة بقاء الخلايا ( Significant diff. Among means (P < 0.05) yes وكانت قيمة R square تساوي (0.9160) مما يدل على وجود علاقة ارتباطية قوية بين المتغيرات. كما تم قياس تركيز للتثبيط النصفي half maximal inhibitory concentration (IC50) فريت النيكل النانوي على خلايا HUVEC في 48 ساعة باستعمال برنامج ((Graph Pad Prism 8.0) استخدام تحليل normalized response وكانت قيمة (IC50=139)، كما مبين في الشكل (55.2)




شكل (54.2) اختبار MTT ل فريت النيكل ($NiFe_2O_4$) النانوي على HUVEC في 48 ساعة



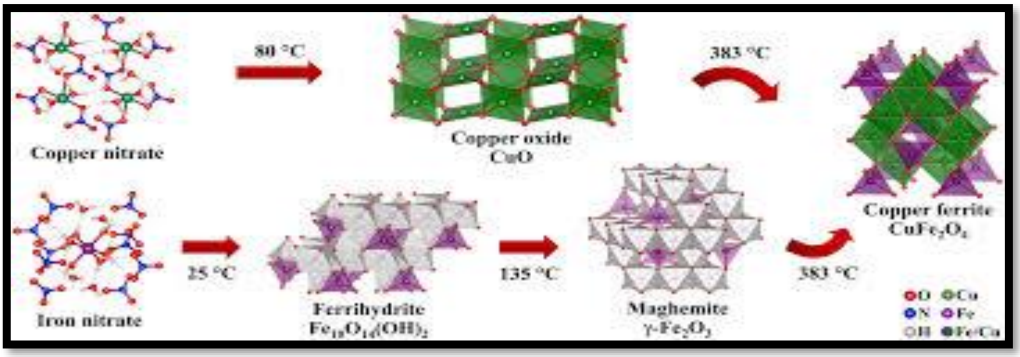

الشكل (55.2) IC50 ل فريت النيكل ($NiFe_2O_4$) النانوي في 48 ساعة

مركبات فريت النيكل النانوية $NiFe_2O_4$ هي مواد منخفضة التكلفة نسبيًا ولها خصائص فيزيائية وكيميائية عدة المثيرة للعناية تقنيًا، مما يجعلها مستخدمة على نطاق واسع في المنتجات الصناعية المختلفة. بشكل عام على خصائص تحفيزية ضوئية[145]. يُظهر NiFe2O4 أيضًا سلوكًا مغناطيسي فائق ومن ثم، فإن تطبيقات تشمل الرنين المغناطيسي تحسين التصوير، وسائط التسجيل المغناطيسية، استشعار الغاز، الاستشعار الكهروكيميائي، التحفيز الضوئي، وكذلك في المعالجة البيئية والتطبيقات الطبية الحيوية، تعتبر الإسبنيل مواد منخفضة السمية منخفضة الذوبان، وهي محفزة تؤدي خصائص ووجود Ni وإلى الحاجة إلى معرفة تفصيلية بسميتها. بالإضافة إلى ذلك، قد تحدث أكاسيد الحديد والاسبنيل بأشكال مختلفة مثل الألياف ، فإن المعرفة السمية عن المواد النانوية $MFe_2O_4$ قليلة تم الإبلاغ عن سمية في المختبر؛ لكن بصرف النظر عن ذلك، يجب أن تكون تقييمات المخاطر الحالية لهذه الأشكال عدة $MFe_2O_4$ بناءً على تقييم السمية الرئوية لكل عنصر على حدة . [146]

## 3.2.3.2 فريت النحاس النانوي $CuFe_2O_4$

## Copper ferrite Nanoparticles $CuFe_2O_4$

يتكون الفريت النحاسي في هيكلين بلوريين هما الإسبنيل المكعب ومراحل رباعي الزوايا اعتمادًا على طريقة التحضير ودرجة حرارة التلدين. تتضمن طرق التحضير العامة للفريت النحاسي الطريقة الحرارية المائية [147]. تم إجراء عدد قليل من تجارب حيود الأشعة السينية (XRD) خارج الموقع لدراسة التطور الهيكلي وتكوين $CuFe_2O_4$ من سلائف هلامية و ($CuFe_2O_4$) سلائف ملح معدني في قالب مسامي. وسلائف الأكسيد المطحون ميكانيكيًا (Cu-O و $Fe_2O_3$ الهيماتيت) عند درجات حرارة مختلفة للتكلس (حوالي 300-1100 درجة مئوية). نظرًا لأنه تم جمع بيانات XRD هذه بعد تبريد العينات إلى درجة حرارة الغرفة، فلا يمكن تحديد بعض التفاعلات الكيميائية التي حدثت في درجات حرارة عالية. وهي شبكة من ثماني الأوجه وتقاسم الزوايا رباعية السطوح.

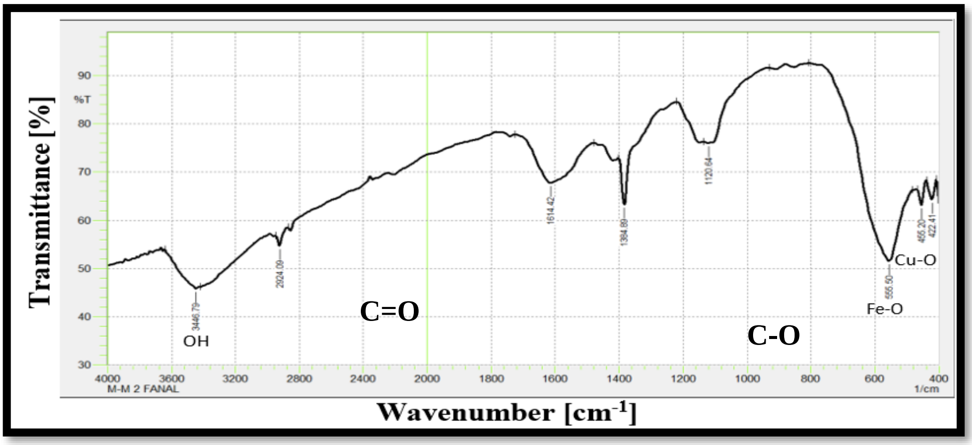



**الشكل (56.2). آلية تشكيل الإسبنيل $CuFe_2O_4$ على SBA-15.** [148]

## 1.3.2.3.2 تشخيص فريت النحاس ($CuFe_2O_4$) النانوي بواسطة طيف الاشعة تحت الحمراء

## Characterization of Copper ferrite ($CuFe_2O_4$) nanoparticles by FTIR

شخّص فريت النحاس ($CuFe_2O_4$) النانوي عن طريق تتبع طيف الأشعة تحت الحمراء (FT-IR) له ومقارنته بطيف املاح $Cu(NO_3)_2.6H_2O$ و $Fe(NO_3)_3.9H_2O$ ، كما موضح بالشكل (57.2) ظهور حزمة حادة ومتوسطة عند التردد ($365cm^{-1}$) تعود لمط الاصرة (Cu -O) Ʊ وحزمة أخرى حادة وطويلة عند التردد ($547cm^{-1}$) تعود لمط الاصرة (Fe-O) Ʊ ، كما لوحظ حزمة حادة وطويلة عند التردد ($1384cm^{-1}$) تعود لمط الاصرة (C-O) Ʊ وحزمة عريضة ومتوسطة عند التردد ($1614cm^{-1}$) تعود لمط الاصرة (C = O) Ʊ. وظهور حزمة عريضة ومميزة عند التردد($3446cm^{-1}$) العائدة لمط الاصرة Ʊ(O-H) [149,150]




**الشكل (57.2) يوضح طيف الأشعة تحت الحمراء لفريت النحاس ($CuFe_2O_4$) النانوي**

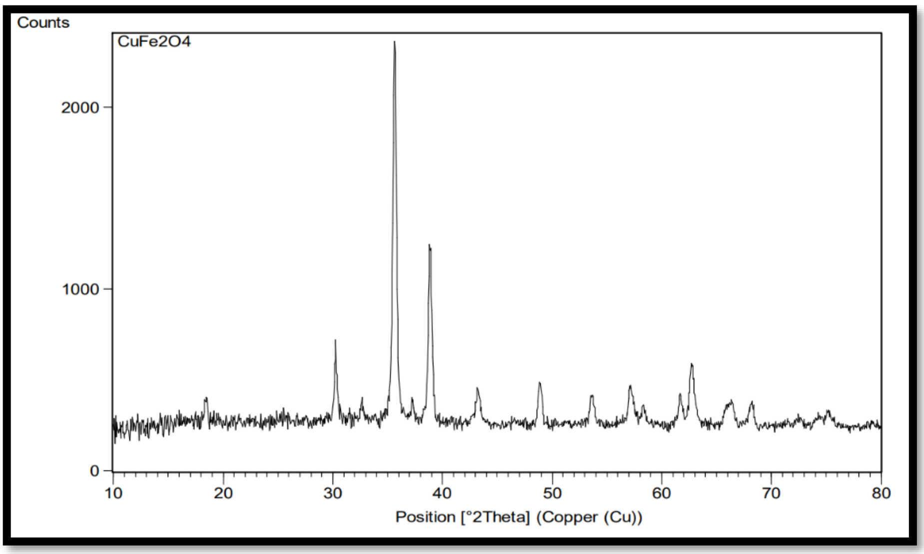
## 2.3.2.3.2 تشخيص فريت النحاس ($CuFe_2O_4$) النانوي بواسطة حيود الاشعة السينية

## Characterization of Copper ferrite ($CuFe_2O_4$) nanoparticles by X-ray diffraction

تم توصيف البنية البلورية للعينات فريت النحاس النانوي ($CuFe_2O_4$) المحضرة بواسطة حيود الأشعة السينية كما مبين في الشكل (58.2) تم تطابق طيف حيود الأشعة السينية ل فريت النحاس المحضر مع الطيف القياسي ($CuFe_2O_4$) مع بيانات(ICDD) المركز الدولي الحيود الأشعة السينية card no: 34-0425 [151]. تم الكشف عن فريت النحاس النانوي ($CuFe_2O_4$) بواسطة قمم الحيود وهي (18) (30) (35.5) (37) (54) (57.5) (63) (71) (75) (77) على التوالي. [152] تم حساب متوسط الحجم البلوري اسبنيل الحديد النانوي كانت بمقدار 30.62 نانومتر باستخدام معادلة (Debye-Scherer) كما موضح في المعادلة رقم 1 وجدول (14.2).

جدول (14.2) يوضح حساب متوسط الحجم الحبيبي فريت النحاس النانوي

| K | λ (Å) | Peak position 2θ (°) | FWHM $B_{size}$ (°) | Dp (nm) | Dp Average (nm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.94 | 1.54178 | 18.4279 | 0.2952 | 28.50 | 30.62 |
| | | 30.253 | 0.1968 | 43.71 | |
| | | 32.6464 | 0.2952 | 29.31 | |
| | | 35.6419 | 0.2952 | 29.55 | |
| | | 37.2587 | 0.2952 | 29.68 | |
| | | 38.8618 | 0.2952 | 29.83 | |
| | | 43.2361 | 0.2952 | 30.26 | |
| | | 48.8749 | 0.246 | 37.08 | |
| | | 53.6402 | 0.3936 | 23.64 | |
| | | 57.1177 | 0.246 | 38.43 | |
| | | 58.3221 | 0.3936 | 24.16 | |
| | | 61.6868 | 0.1968 | 49.14 | |
| | | 62.7303 | 0.3444 | 28.24 | |
| | | 66.3141 | 0.3936 | 25.20 | |
| | | 68.1852 | 0.3936 | 25.48 | |
| | | 75.2357 | 0.5904 | 17.76 | |

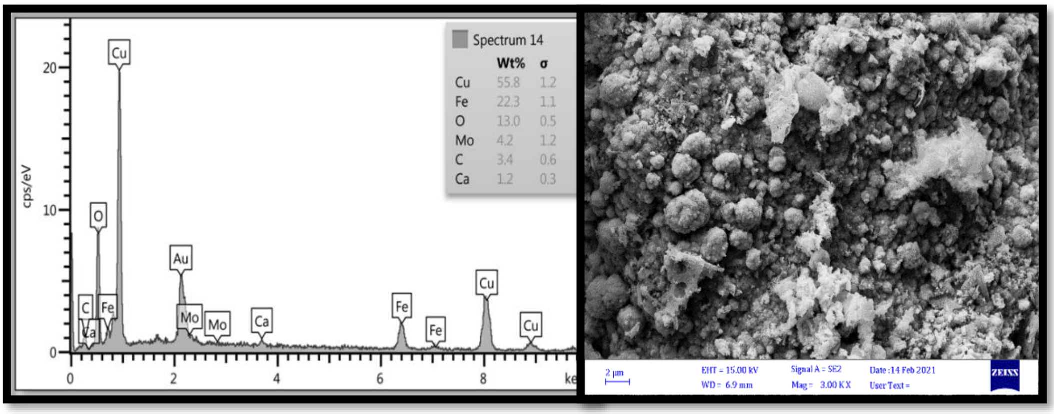



الشكل (58.2) يوضح طيف حيود الاشعة السينية فريت النحاس النانوي ($CuFe_2O_4$)

## 3.3.2.3.2 تشخيص فريت النحاس ($CuFe_2O_4$) النانوي بواسطة الأشعة السينية المشتتة للطاقة

## Characterization of copper ferrite ($CuFe_2O_4$) nanoparticles by energy dispersive X-ray (EDX)

تم تشخيص نسبة العناصر الموجودة في فريت النحاس ($CuFe_2O_4$) النانوي بواسطة الأشعة السينية المشتتة للطاقة EDX، كما هو مبين في الشكل (59.2) وأظهرت النتائج وجود النحاس بنسبة (55.8%) والحديد (22.3%). و جود نسب قليلة جدا لكل من عنصر الأوكسجين و الموليبدنوم و الكاربون و الكالسيوم و مادة الاسبنيل المحضرة ذات نقاوة جيدة [153,154].



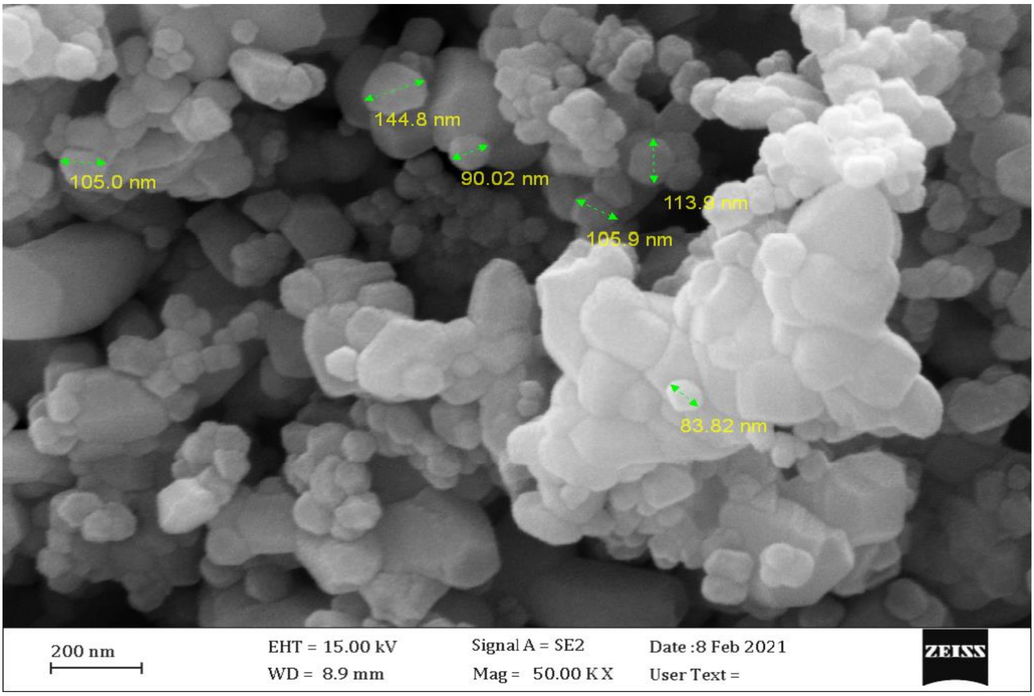

**الشكل (59.2) يوضح طيف الأشعة السينية المشتتة للطاقة فريت النحاس $CuFe_2O_4$**

## 4.3.2.3.2 تشخيص فريت النحاس ($CuFe_2O_4$) النانوي بواسطة مجهر المسح الالكتروني

## Characterization of copper ferrite ($CuFe_2O_4$) nanoparticles by scanning electron microscope (SEM)

تم دراسة التراكيب المورفولوجية والهيكلية فريت النحاس النانوي ($CuFe_2O_4$) باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح SEM يوضح الشكل (60.2) أن الجسيمات فريت النحاس النانوي المحضرة تكون ضمن نطاق النانومتر، وأظهرت صور SEM إلى أن بعض الحبيبات النانوية مفصولة جيدًا عن بعضها البعض بينما كان معظمها موجودًا في شكل

متكتل يعود هذا التكتل الى التأثيرات الالكتروستاتيكية ، وهذا يتفق مع سلوك مشابه لتكتل الجسيمات النانوية في دراسات سابقة ويبلغ معدل قطر هذه الجسيمات حوالي 107.24 نانومتر[114]

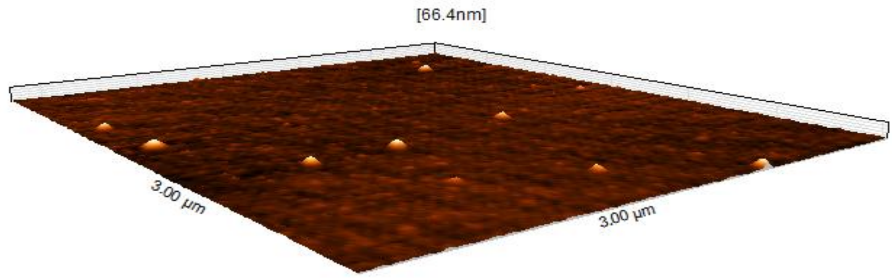



**الشكل (60.2) يوضح المجهر الالكتروني الماسح (SEM) فريت النحاس ($CuFe_2O_4$)**

## 5.3.2.3.2 تشخيص فريت النحاس ($CuFe_2O_4$) النانوي بواسطة مجهر القوة الذرية

## Characterization of copper ferrite ($CuFe_2O_4$) nanoparticles by atomic force microscopy (AFM)

تم تحليل فريت النحاس ($CuFe_2O_4$) النانوي المحضر باستخدام مجهر القوة الذرية (AFM) وأن معدل الحجم للحبيبات (Ave. Diameter) كان (66.4 nm) نانو متر ومتوسط الخشونة (Sa. Roughness average) كانت (122pm) بيكو متر و كان (Sq.Root mean square) معدل الجذر التربيعي (250pm) بيكو متر ،كما يظهر في الشكل (61.2). [155]




**الشكل (61.2) صورة مجهر القوة الذرية (AFM) اسبنيل فريت النحاس النانوي($CuFe_2O_4$)**

## 6.3.2.3.2 الفعالية المضادة للبكتريا لفريت النحاس النانوي تجاه E. coli

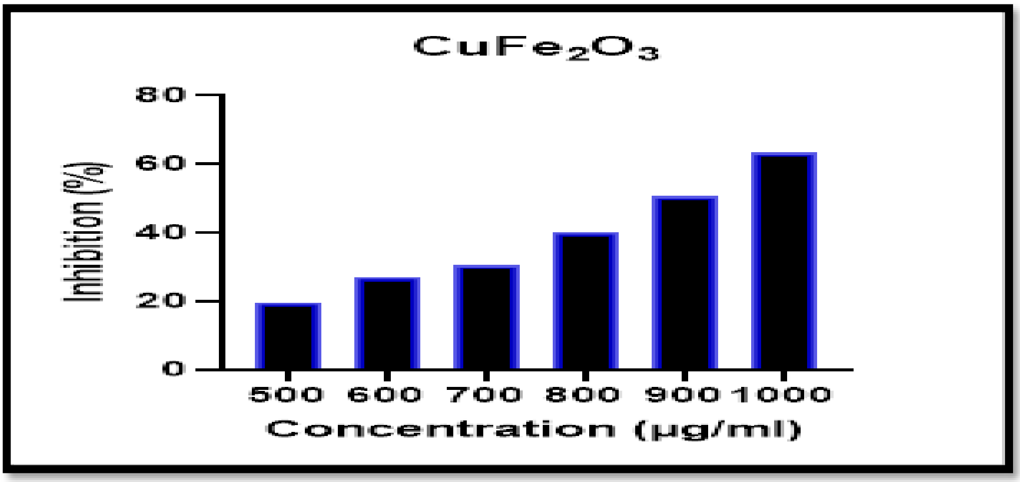
## Antibacterial activity of nano-copper ferrite against E. coli

تم دراسة تأثير إضافة تراكيز مختلفة ل فريت النحاس ($CuFe_2O_4$) النانوي على تثبيط نمو E. coli كما مبين في جدول (15.2) وشكل (62.2) حيث إذ يلحظ وجود علاقة طردية بين تركيز ($CuFe_2O_4$) ونسبة تثبيط نمو البكتريا اذ بلغت أعلى نسبة تثبيط نمو تجاه E. coli 63.2% في تركيز (1000µg/ml). في حين بلغت أقل نسبة تثبيط نمو 19.6% في تركيز (500µg/ml) وأظهرت نتائج التحليل الإحصائي فريت النحاس ($CuFe_2O_4$) على

تثبيط نمو بكتريا E. coli باستعمال برنامج (Graph Pad Prism 8.0) واستخدم تحليل (correlation) لاستدلال على المعنوية بلغ قيمة (P-value< 0.0002) وهناك فرقا معنويا كبيرا بين التركيز ونسبة بقاء الخلايا Significant diff. Among means (P < 0.05) yes وكانت قيمة R square تساوي (0.9682) مما يدل على وجود علاقة ارتباطية قوية بين تثبيط نمو بكتريا الإشريكية القولونية وزيادة التركيز ($CuFe_2O_4$).

**جدول (15.2) يبين تأثير فعالية فريت النحاس اتجاه البكتيريا**

| Compound | Inhibition (%) Mean±SD | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Concentration (μg/ml) | | | | | |
| | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| $CuFe_2O_4$ | 19.6±0.76 | 27.1±0.16 | 30.4±3.77 | 40.1±2.37 | 50.5±1.94 | 63.2±0.69 |




**الشكل (62.2) يوضح تأثير تركيز فريت النحاس النانوي على نمو E. coli**

## 7.3.2.3.2 اختبار سمية فريت النحاس ($CuFe_2O_4$) النانوي على خط الخلايا HUVEC

## Toxicity test of nano copper ferrite ($CuFe_2O_4$) on HUVEC cells

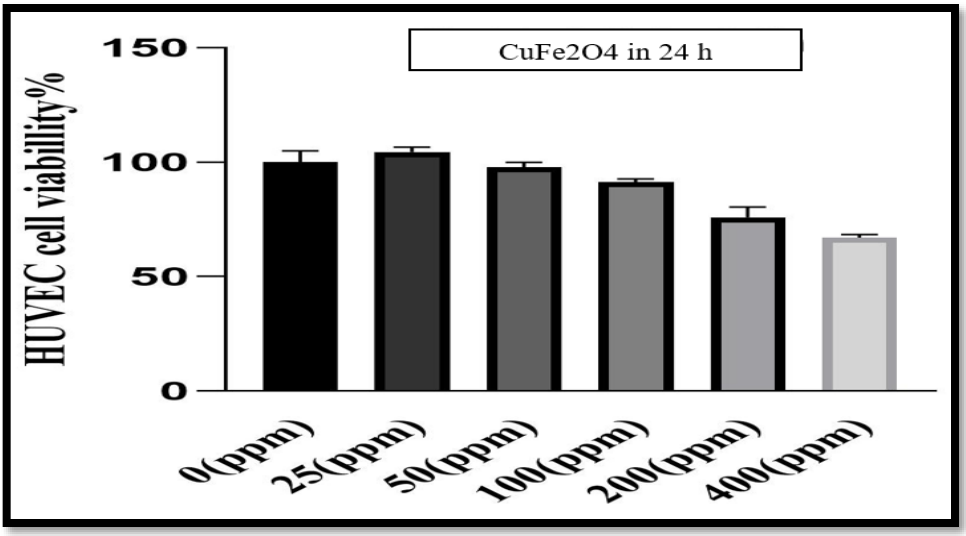
تمت دراسة سمية الخلوية لجسيمات فريت النحاس ($CuFe_2O_4$) النانوي على خطوط خلايا HUVECوذلك من خلال اجراء اختبار MTT في تراكيز مختلفة من (400,200,100,50,25µg/ml) خلال 24 و48 ساعة بالمقارنة مع المجموعة الضابطة. أظهرت النتائج تركيز نسبة بقاء خلايا HUVEC بعد مرور 24 ساعة من إضافة فريت النحاس ($CuFe_2O_4$) النانوية عند تركيز(25µg/ml) كانت 104.43% مما يدل على عدم تأثير هذا التركيز القليل على الخلايا HUVEC لكن نجد أن نسبة بقاء الخلايا HUVEC عند تركيز (50µg/ml) كانت97.87% اذ قلت النسبة مما يدل على أن هناك علاقة بين زيادة التركيز ونسبة الفعالية او القتل بينما نسبة بقاء الخلايا عند تركيز( 100µg/ml) كانت 91.35% وفي تركيز(200 µg/ml) كانت نسبة بقاء الخلايا HUVEC 75.98% لكن عند تركيز (400µg/ml) كانت نسبة بقاء الخلايا HUVEC 67.036% مما يدل على نقصان عدد الخلايا الحية ،كما مبين في جدول (16.2) و شكل (63.2).

**جدول (16.2) يبين السمية الخلوية فريت النحاس النانوي في 24 ساعة لخلايا HUVEC**

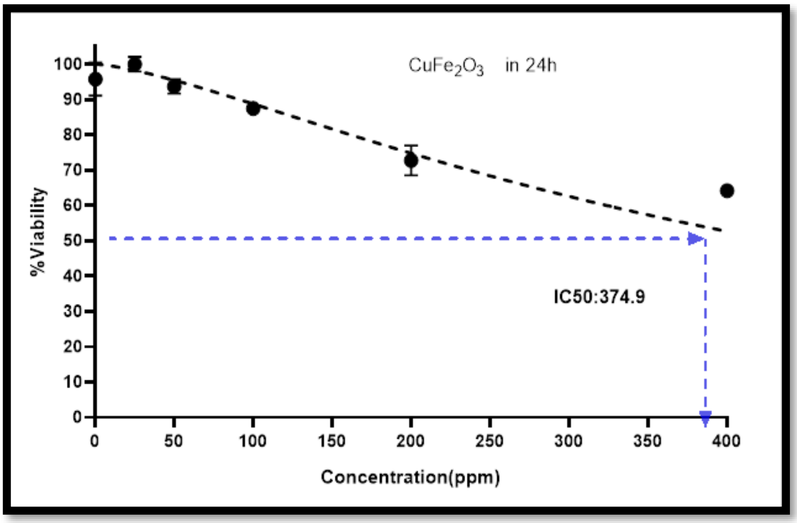
| Concentration | R1% | R2% | R3% | Mean% | SD |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 95.61415 | 99.06389 | 105.3245 | 100.0009 | 4.922536 |
| 25 | 102.3859 | 104.1746 | 106.73 | 104.4302 | 2.183306 |
| 50 | 95.61415 | 98.29728 | 99.70273 | 97.87139 | 2.0773 |
| 100 | 92.80324 | 90.12011 | 91.14226 | 91.3552 | 1.354184 |
| 200 | 71.08263 | 77.08774 | 79.77088 | 75.98042 | 4.448711 |
| 400 | 67.24958 | 68.27173 | 65.58859 | 67.03663 | 1.354184 |

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي فريت النحاس ($CuFe_2O_4$) النانوي على خلايا HUVEC في 24 ساعة باستعمال برنامج (Graph Pad Prism 8.0) استخدم تحليل التباين وحيد الاتجاه (One way ANOVA) لاستدلال على المعنوية حيث بلغت قيمة (P-value< 0.0012) وهناك فرق معنوي كبير بين التركيز ونسبة بقاء الخلايا (Significant diff. Among means (P < 0.05) yes) وكانت قيمة R square

تساوي (0.9207) مما يدل على وجود علاقة ارتباطية قوية بين المتغيرات كما تم قياس تركيز للتثبيط النصفي half maximal inhibitory concentration (IC50) فريت النحاس النانوي على خلايا HUVEC في 24 ساعة باستعمال برنامج ( Graph Pad Prism 8.0) استخدام تحليل normalized response وكانت قيمة (IC50=374)، كما مبين في الشكل (64.2)




**شكل (63.2) اختبار MTT ل فريت النحاس ($CuFe_2O_4$) النانوي على HUVEC في 24 ساعة**



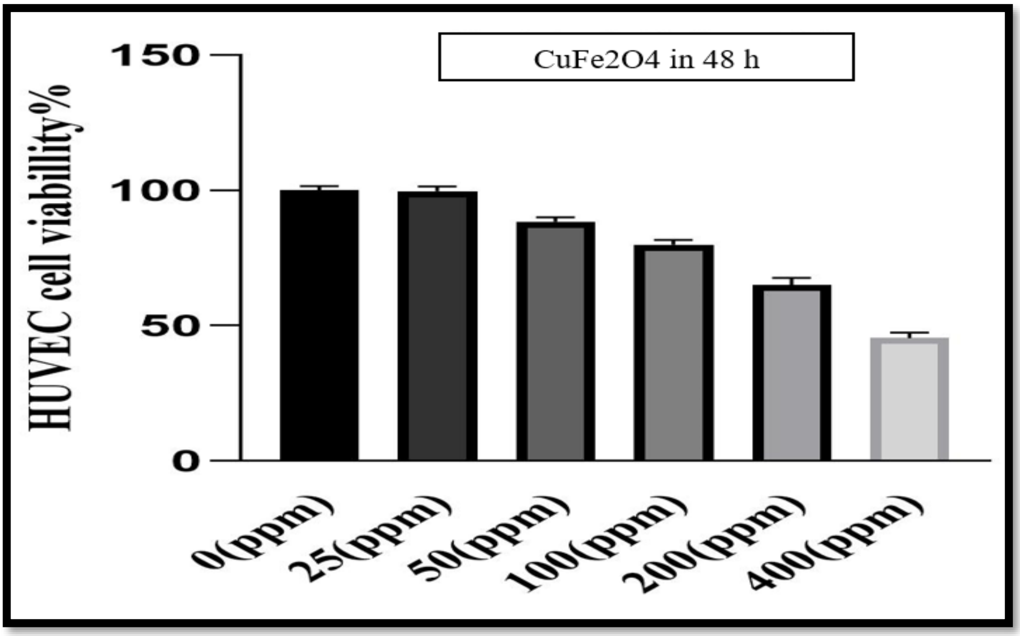

**الشكل (64.2) IC50 ل فريت النحاس ($CuFe_2O_4$) النانوي في 24 ساعة**

بينما أظهرت النتائج الواردة في جدول (17.2) السمية الخلوية وتم فحصها في تراكيز مختلفة (من 25 إلى 400 ميكروجرام/مل) بالمقارنة مع المجموعة الضابطة أظهرت النتائج ان تركيز نسبة بقاء الخلايا HUVEC بعد مرور48 ساعة من اضافة فريت النحاس ($CuFe_2O_4$)عند تركيز(25µg/ ml) كانت 99.70% مما يدل على أن هناك علاقة بين عامل الوقت والتركيز على نسبة بقاء الخلايا HUVEC لكن نجد أن نسبة بقاء الخلايا HUVEC عند تركيز(50µg/ ml) كانت88.44% قلت النسبة مما يدل على أن هناك علاقة بين زيادة التركيز ونسبة الفعالية أو القتل بينما نسبة بقاء الخلايا عند تركيز 100) µg/ ml)كانت 79.92% ، إذ حيث يظهر أن النسبة قلت وفي تركيز(200 µg/ml) كانت نسبة بقاء الخلايا HUVEC 64.87% حيث يظهر أن النسبة قلت الى النصف لكن عند تركيز(400 µg/ml) كانت نسبة بقاء الخلايا HUVEC 45.38% مما يدل على نقصان عدد الخلايا الحية بنسبة اكثر من النصف ،كما مبين في جدول (17.2) و الشكل (65.2)

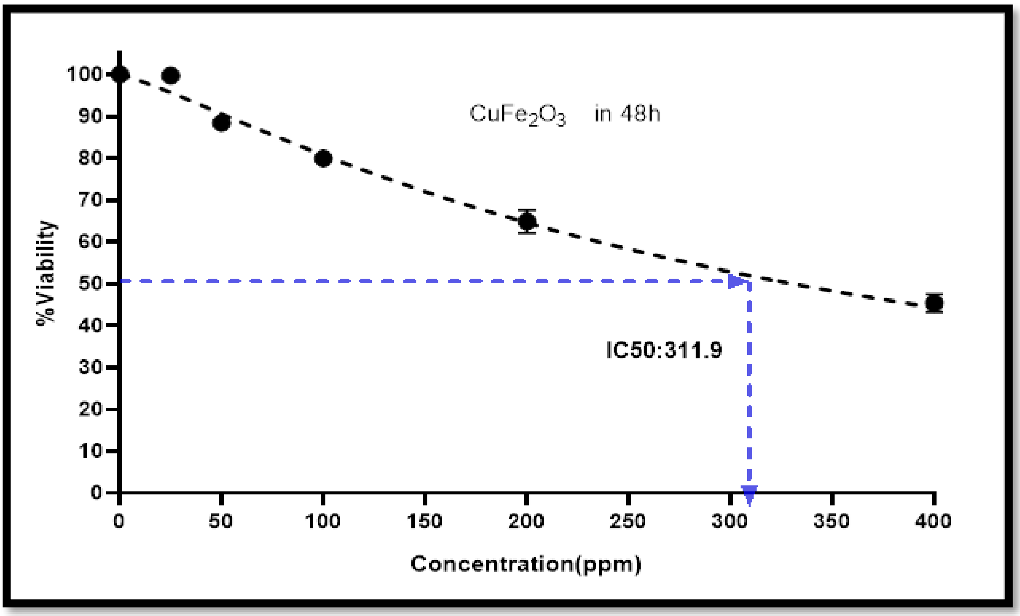
**جدول (17.2) يبين السمية الخلوية فريت النحاس النانوي في 48 ساعة لخلايا HUVEC**

| Concentration | R1% | R2% | R3% | Mean% | SD |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 101.8288 | 98.83625 | 99.335 | 100 | 1.603267 |
| 25 | 101.0806 | 100.3325 | 97.71405 | 99.70906 | 1.767761 |
| 50 | 87.24024 | 87.73899 | 90.35744 | 88.44556 | 1.674417 |
| 100 | 79.38488 | 78.51206 | 81.87864 | 79.92519 | 1.74712 |
| 200 | 67.91355 | 62.55196 | 64.17291 | 64.87947 | 2.749746 |
| 400 | 43.10059 | 47.2153 | 45.84373 | 45.38654 | 2.095109 |

بينما أظهرت نتائج التحليل الإحصائي فريت النحاس ($CuFe_2O_4$) النانوي على خلايا HUVEC في 48 ساعة حيث بلغت قيمة (P-value< 0.0003) وهناك فرق معنوي كبير بين التركيز ونسبة بقاء الخلايا ( Significant diff. Among means (P < 0.05) yes) وكانت قيمة R square تساوي (0.9599) مما يدل على وجود علاقة ارتباطية قوية بين المتغيرات. كما تم قياس تركيز للتثبيط النصفي half maximal inhibitory concentration (IC50) فريت النحاس النانوي على خلايا HUVEC في 48 ساعة باستعمال برنامج ((Graph Pad Prism 8.0) استخدام تحليل normalized response وكانت قيمة (IC50=311)، كما مبين في الشكل (66.2)




شكل (65.2) اختبار MTT ل فريت النحاس ($CuFe_2O_4$) النانوي على HUVEC في 48 ساعة

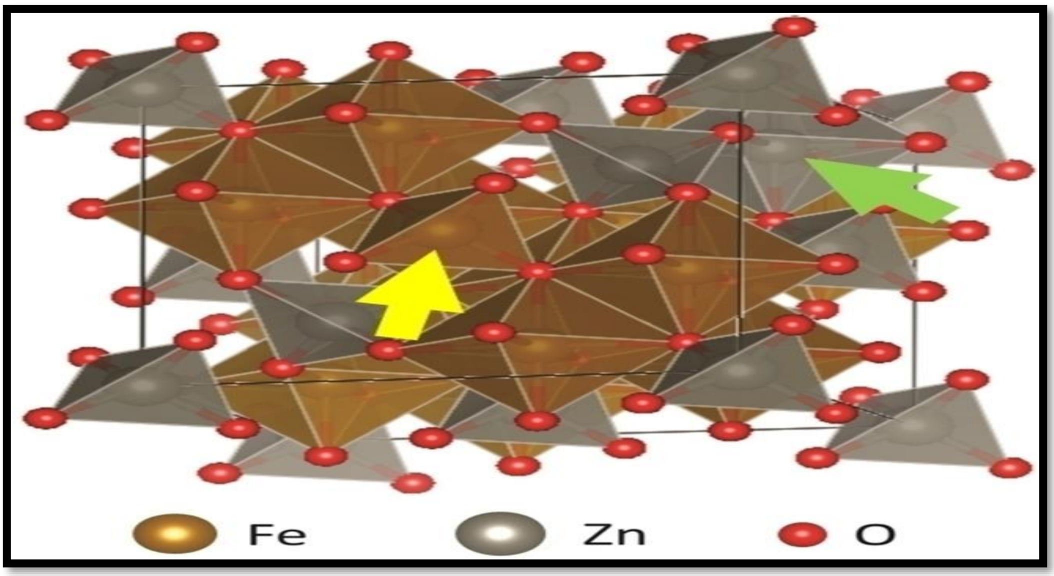



الشكل (66.2) IC50 ل فريت النحاس ($CuFe_2O_4$) النانوي في 48 ساعة

فريت النحاس ($CuFe_2O_4$) له أهمية كبيرة في السنوات الأخيرة بسبب خصائصه البصرية والكهربائية والمغناطيسية المثيرة للعناية. هو أحد الفريتات المصنوعة من الإسبنيل المهمة وذلك لأنه يعرض انتقالات المرحلة، ويغير خصائص أشباه الموصلات، ويظهر التبديل الكهربائي وعندما تم تحضيره في ظروف مختلفة بالإضافة إلى الخصائص المغناطيسية والكهربائية المثيرة للاهتمام مع الثبات الكيميائي والحراري[156]. يعد NPs ($CuFe_2O_4$) من المواد المهمة التي يجب استخدامها في تطبيقات مختلفة مثل مستشعرات الغاز، والمحفزات والخلايا الكهروكيميائية، أجهزة تسجيل بصرية مغناطيسية عالية الكثافة، وتصوير ملون، وتبريد مغناطيسي وموائع ممغنطة. بسبب خصائصه البصرية والمغناطيسية المثيرة للعناية، الإسبنيل الفريت NPs لديه القدرة على استخدامه في التطبيقات الطبية الحيوية مثل توصيل الأدوية، والتصوير بالرنين المغناطيسي. لذلك، من الضروري إنشاء بيانات السلامة السمية في المختبر وفي الجسم الحي لهذه NPs من قبل تطبيقها في طب النانو. [157]هناك بعض الأدلة الأولية على أن ($CuFe_2O_4$) غير سامة للخلايا البنكرياس والمبيض البشري بجرعات منخفضة ويمكن أن تكون بمثابة أداة قوية للورم السرطانية الكشف والعلاج الكيميائي المستهدف بمساعدة المجال المغناطيسي أو ارتفاع الحرارة ومع ذلك لاحظ منحنيات مختلفة للجرعة والاستجابة لحيوية الخلية لكل خلية من الخلايا السبع الخطوط الأساسي الخلايا للفئران عند التعرض ل NPs ($CuFe_2O_4$) ومع ذلك فإن المعلومات حول سمية ($CuFe_2O_4$) NPsعلى المستويين الخلوي والجزيئي تفتقر إلى حد كبير ومن ثم، تم تصميم الدراسة الحالية للتحقيق في إمكانات السمية الخلوية فريت نحاس NPs في خلايا HUVEC لتحقيق هذا الهدف ، حددنا قابلية الخلية للحياة وتلف غشاء الخلية ودورة الخلية وإمكانات غشاء الميتوكوندريا والتعبير عن بعض جينات موت الخلايا المبرمج في خلايا HUVEC. استكشفنا كذلك ما إذا كان داخل الخلايا توليد أنواع الأكسجين التفاعلية (ROS) بسبب ($CuFe_2O_4$) NPs التعرض هو إحدى الآليات الممكنة للسمية الخلوية[158].

## Zinc ferrite Nanoparticles $ZnFe_2O_4$ 4.2.3.2
## فريت الزنك النانوي

فريت الزنك حظي بعناية كبير بسبب تطبيقاته المهمة في التحفيز الضوئي وتخزين المعلومات والأجهزة الإلكترونية والمواد المغناطيسية واستشعار الغاز تم تكريس جهود عدة لتجميع المواد النانوية $ZnFe_2O_4$. المواد النانوية $ZnFe_2O_4$ ذات الأشكال المختلفة، مثل الجسيمات النانوية. نانو قضبان، المجالات الدقيقة نواة الأساسية. الأنابيب النانوية. تمتلك الأغشية الرقيقة خصائص مرغوبة مثل السمية المنخفضة، والتكلفة المنخفضة، والوفرة العالية للمواد الأم، والاستقرار الكيميائي الجيد. [159]. ، تعد الطريقة الحرارية المذيبة أكثر الطرق لها مستقل جيد نظرًا لانخفاض درجة حرارة التفاعل ، والحماية من المزيد من التكليس والتأثير البيئي المنخفض [160] . أظهرت الدراسات السابقة أنه يمكن إزالة مواد الصبغة العضوية عن طريق المواد النانوية المصنوعة من الفريت الإسبنيل من خلال الامتزاز وأن قدرتها على الامتصاص لها ارتباط قوي بحجم الجسيمات وشكلها ومساحة السطح [161] خافض للتوتر السطحي [162] مجموعات أمينية [41] وبوليمرات [163] . وقد وجد أن المواد الخافضة للتوتر السطحي يمكنها حماية الجسيمات النانوية بشكل أفضل من التكتل بينما تؤثر في نفس الوقت على شحنة السطح (إلى السالبة أو الموجبة)[164].

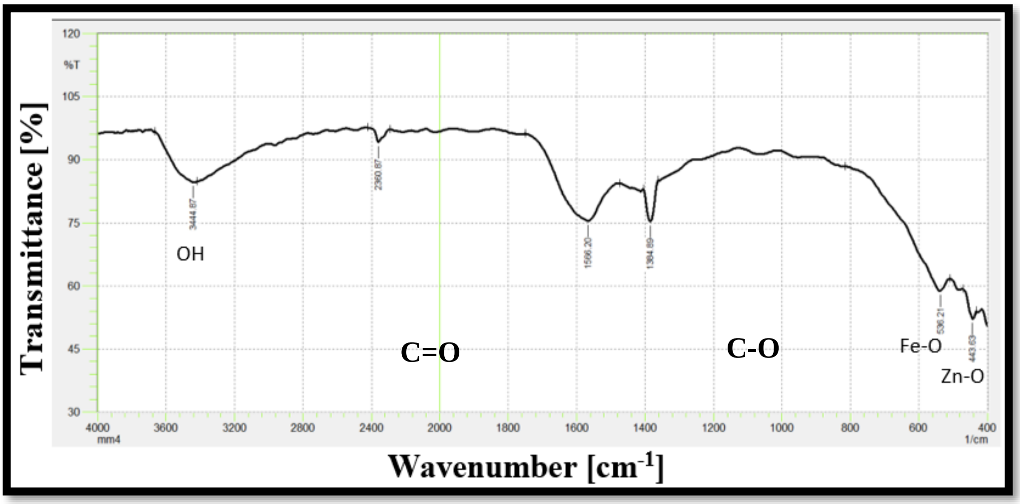



الشكل (67.2). هيكل بلوري ثلاثي الأبعاد لـ $ZnFe_2O_4$ [165]

## 1.4.2.3.2 تشخيص فريت الزنك ($ZnFe_2O_4$) النانوي بواسطة طيف الاشعة تحت الحمراء

## Characterization of Zinc ferrite ($ZnFe_2O_4$) nanoparticles by FTIR

شخص فريت النحاس ($ZnFe_2O_4$) النانوي عن طريق تتبع طيف الأشعة تحت الحمراء (FT-IR) له ومقارنته بطيف املاح $Zn(NO_3)_2.6H_2O$ و $Fe(NO_3)_3.9H_2O$ ، كما موضح بالشكل (68.2) ظهور حزمة حادة ومتوسطة عند التردد ($422cm^{-1}$) تعود لمط الاصرة (Zn-O) Ʋ وحزمة أخرى حادة وطويلة عند التردد ($566cm^{-1}$) تعود لمط الاصرة (Fe-O) Ʋ، كما لوحظ حزمة حادة وطويلة عند التردد ($1384cm^{-1}$) تعود لمط الاصرة (C-O) Ʋ وحزمة عريضة ومتوسطة عند التردد ($1566cm^{-1}$) تعود لمط الاصرة (C = O) Ʋ. وظهور حزمة عريضة ومميزة عند التردد($3446cm^{-1}$) العائدة لمط الاصرة Ʋ(O-H) [166]




**الشكل (68.2) يوضح طيف الاشعة تحت الحمراء لفريت الزنك ($ZnFe_2O_4$) النانوي**

## 2.4.2.3.2 تشخيص فريت الزنك $(ZnFe_2O_4)$ النانوي بواسطة حيود الاشعة السينية

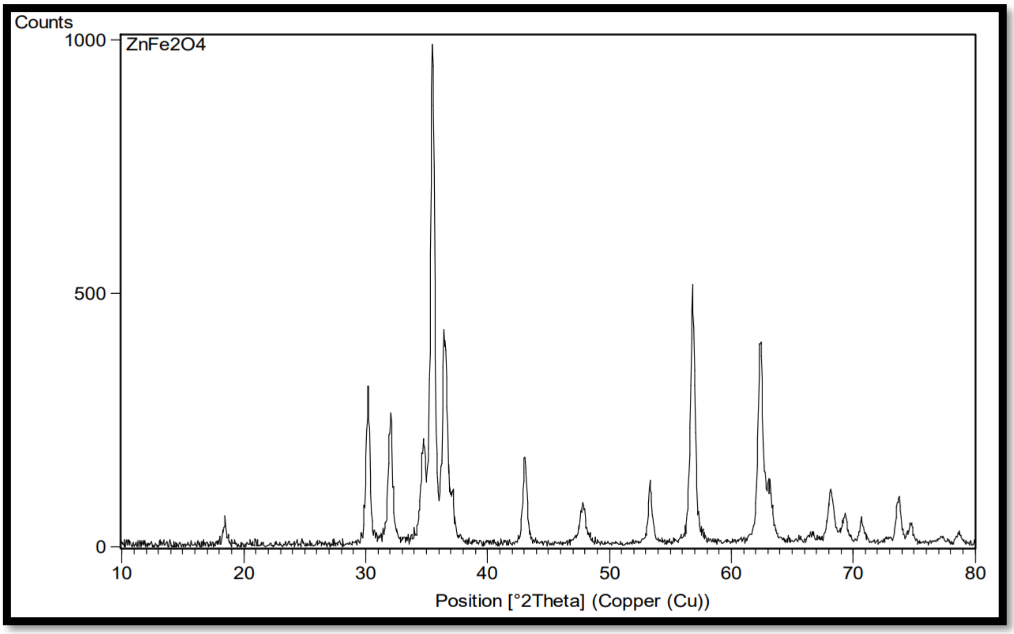
## Characterization of Zinc ferrite $(ZnFe_2O_4)$ Nanoparticles by X-ray Diffraction

تم توصيف البنية البلورية للعينات فريت الزنك النانوي $(ZnFe_2O_4)$ المحضرة بواسطة حيود الأشعة السينية ،كما مبين في الشكل (69.2) تم تطابق طيف حيود الاشعة السينية ل فريت الزنك المحضر مع الطيف القياسي $(ZnFe_2O_4)$ مع بيانات(ICDD) المركز الدولي الحيود الاشعة السينية card no: 22-1012 [167]. تم الكشف عن فريت الزنك النانوي $(ZnFe_2O_4)$ بواسطة قمم الحيود وهي (30) ، (32) و (34) و (35) و (36) (43) (48) (53) (57) (62.5) (68) (69) (71) (73.5) تم حساب متوسط الحجم البلوري فريت الزنك النانوي كانت بمقدار 29.13 نانومتر باستخدام معادلة ( -Debye Scherer) ،كما موضح في المعادلة رقم 1 وجدول (18.2).

**جدول (18.2) يوضح حساب متوسط الحجم الحبيبي فريت الزنك النانوي**

| K | λ (Å) | Peak position 2θ (°) | FWHM $B_{size}$ (°) | Dp (nm) | Dp Average (nm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.94 | 1.54178 | 18.4594 | 0.1476 | 57.00 | 29.13 |
| | | 30.207 | 0.246 | 34.96 | |
| | | 32.056 | 0.3936 | 21.95 | |
| | | 34.7408 | 0.2952 | 29.47 | |
| | | 35.5047 | 0.3444 | 25.32 | |
| | | 36.4805 | 0.1968 | 44.43 | |
| | | 43.083 | 0.3444 | 25.92 | |
| | | 47.8107 | 0.3936 | 23.08 | |
| | | 53.3429 | 0.246 | 37.77 | |

|  |  | 56.8263 | 0.3936 | 23.99 |  |
|---|---|---|---|---|---|
|  |  | 62.3939 | 0.3444 | 28.19 |  |
|  |  | 63.1893 | 0.2952 | 33.02 |  |
|  |  | 68.1798 | 0.492 | 20.38 |  |
|  |  | 69.3030 | 0.3936 | 25.65 |  |
|  |  | 70.7164 | 0.3936 | 25.87 |  |
|  |  | 73.7117 | 0.3444 | 30.13 |  |
|  |  | 74.7148 | 0.3936 | 26.54 |  |
|  |  | 77.2500 | 0.5904 | 18.00 |  |
|  |  | 78.6480 | 0.492 | 21.82 |  |

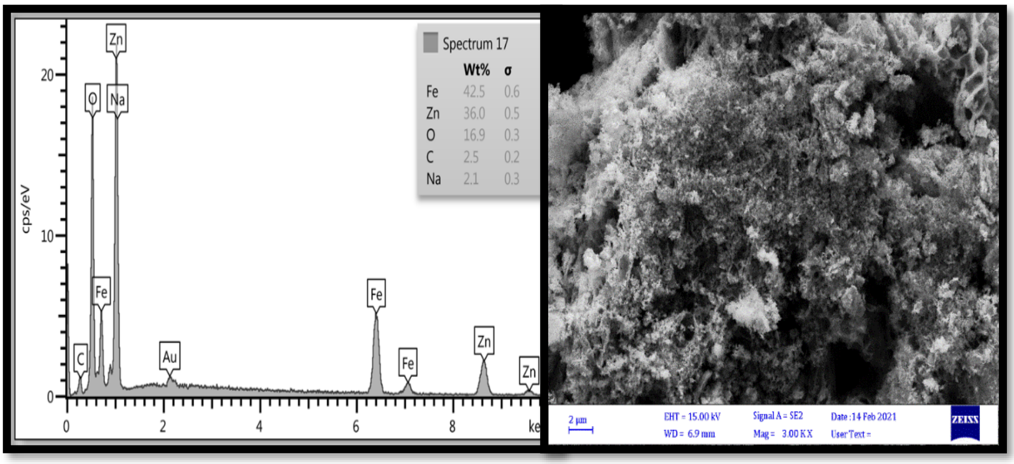



**الشكل (69.2) يوضح طيف حيود الاشعة السينية ل فريت الزنك النانوي ($ZnFe_2O_4$)**

## 3.4.2.3.2 تشخيص فريت الزنك ($ZnFe_2O_4$) النانوي بواسطة الأشعة السينية المشتتة للطاقة

## Characterization of zinc ferrite ($ZnFe_2O_4$) nanoparticles by energy dispersive X-ray (EDX)

تم تشخيص نسبة العناصر الموجودة في فريت الزنك ($ZnFe_2O_4$) النانوي بواسطة الأشعة السينية المشتتة للطاقة EDX، كما هو مبين في الشكل (70.2) وأظهرت النتائج وجود الزنك بنسبة (36.0%) والحديد (42.5%). و جود نسب قليلة جدا لكل من عنصر الأوكسجين و الكاربون و الصوديوم و مادة الأسبنيل المحضرة ذات نقاوة جيدة.[119]



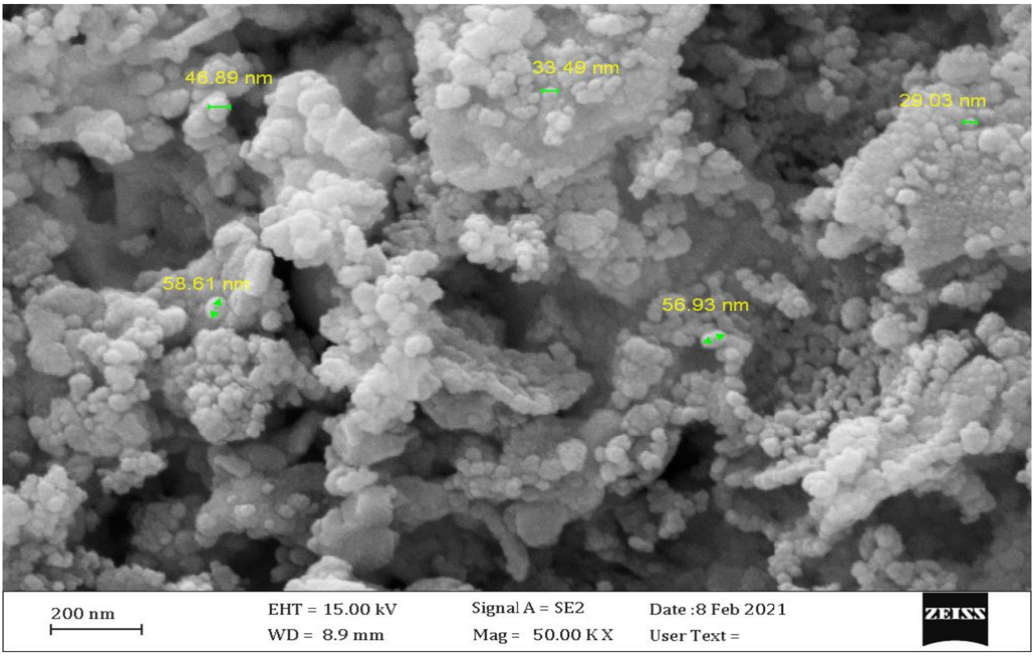

**الشكل (70.2) يوضح طيف الأشعة السينية المشتتة للطاقة اكسيد الحديد $ZnFe_2O_4$**

## 4.4.2.3.2 تشخيص فريت الزنك ($ZnFe_2O_4$) النانوي بواسطة مجهر المسح الالكتروني

## Characterization of zinc ferrite ($ZnFe_2O_4$) nanoscopic by scanning electron microscope (SEM)

تم دراسة التراكيب المورفولوجية والهيكلية فريت الزنك ($ZnFe_2O_4$) النانوي بأستخدام المجهر الإلكتروني الماسح SEM يوضح الشكل (71.2) أن الجسيمات فريت الزنك النانوي المحضرة تكون ضمن نطاق النانومتر وأظهرت صور SEM إلى أن بعض

الحبيبات النانوية مفصولة جيدًا عن بعضها البعض بينما كان معظمها موجودًا في شكل متكتل يعود هذا التكتل الى التأثيرات الالكتروستاتيكية وهذا يتفق مع سلوك مشابه لتكتل الجسيمات النانوية في دراسات سابقة ويبلغ معدل قطر هذه الجسيمات حوالي 44.99 نانومتر. [168]

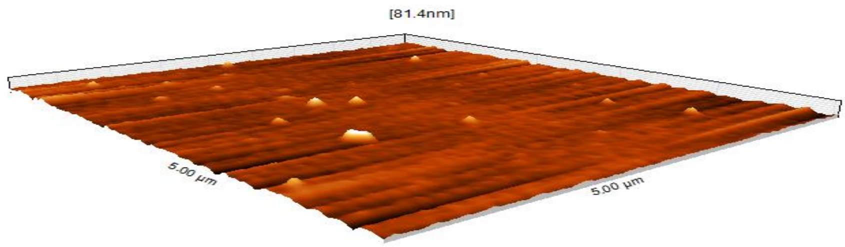



**الشكل (71.2) يوضح المجهر الالكتروني الماسح (SEM) فريت الزنك ($ZnFe_2O_4$)**

## 5.4.2.3.2 تشخيص فريت الزنك ($ZnFe_2O_4$) النانوي بواسطة مجهر القوة الذرية

## Characterization of zinc ferrite ($ZnFe_2O_4$) nanoparticles by atomic force microscopy (AFM)

تم تحليل فريت الزنك ($ZnFe_2O_4$) النانوي المحضر باستخدام مجهر القوة الذرية (AFM) وان معدل الحجم للحبيبات (Ave. Diameter) كان (81.4 nm) نانو متر ومتوسط الخشونة (Sa. Roughness average) كانت (58.1pm) بيكو متر و كان ( Sq.Root mean square) معدل الجذر التربيعي (85.2pm) بيكو متر، كما يظهر في الشكل (72.2)[169] .




**الشكل (72.2) صورة مجهر القوة الذرية (AFM) فريت الزنك النانوي($ZnFe_2O_4$)**

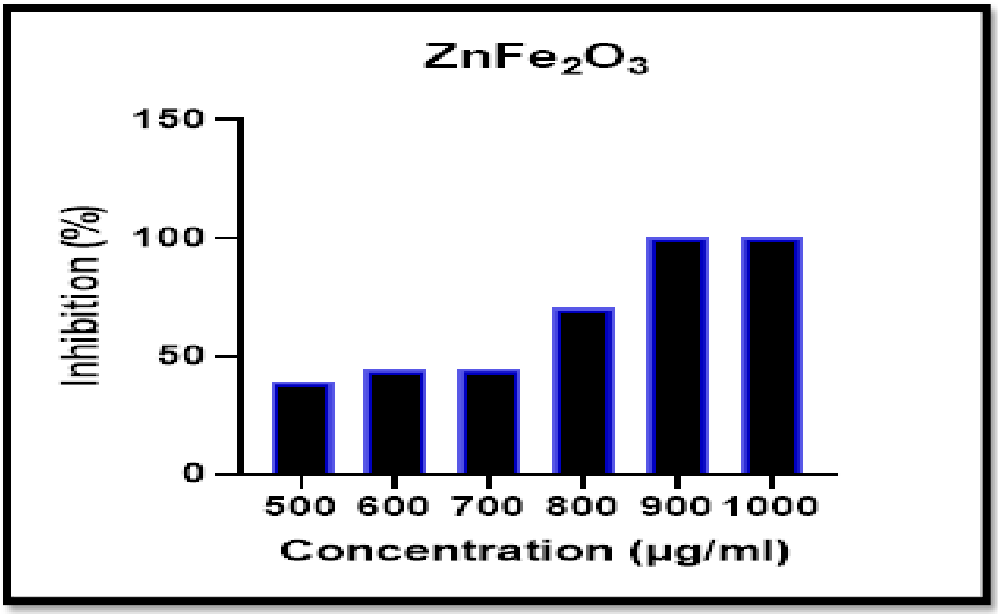
## 6.4.2.3.2 الفعالية المضادة للبكتريا لفريت الزنك النانوي تجاه E. coli

## Antibacterial activity of copper-zinc ferrite against E. coli

تم دراسة تأثير اضافة تراكيز مختلفة ل فريت الزنك ($ZnFe_2O_4$) النانوي على تثبيط نمو بكتريا E. coli كم مبين في جدول (19.2) وشكل (73.2)، حيث إذ يلحظ وجود علاقة طردية بين تركيز ($ZnFe_2O_4$) ونسبة تثبيط نمو البكتريا اذ بلغت أعلى نسبة تثبيط نمو تجاه E. coli 100% في تركيز (900µg/ml). وبلغت أقل نسبة تثبيط نمو تجاه E. coli 39.2% في تركيز (500µg/ml) وأظهرت نتائج التحليل الإحصائي فريت النحاس ($ZnFe_2O_4$) على تثبيط نمو بكتريا E. coli باستعمال برنامج ( Graph Pad Prism 8.0) واستخدم تحليل (correlation) لاستدلال على المعنوية بلغ قيمة (P- 0.0025 value<) وهناك فرقا معنويا كبيرا بين التركيز ونسبة بقاء الخلايا .Significant diff Among means (P < 0.05) yes وكانت قيمة R square تساوي (0.8865) مما يدل على وجود علاقة ارتباطية قوية بين تثبيط نمو بكتريا الإشريكية القولونية وزيادة التركيز ($ZnFe_2O_4$).

**جدول (19.2) يبين تأثير فعالية فريت الزنك اتجاه البكتيريا**

| Compound | Inhibition (%) Mean±SD | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Concentration (µg/ml) | | | | | |
| | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| $ZnFe_2O_4$ | 39.2±4.20 | 44.3±1.71 | 44.6±4.90 | 70.2±1.38 | 100 | 100 |




**الشكل (73.2) يوضح تأثير تركيز فريت الزنك النانوي على نمو E. coli**

يُظهر فريت الزنك ($ZnFe_2O_4$) النانوي نشاطًا جيدًا ضد بكتيريا الإشريكية القولونية E. coli [170] يمكن أن يكون مادة مضادة للجراثيم وعلاج العدوى التي تسببها البكتيريا. ويستخدم فريت الزنك ($ZnFe_2O_4$) النانوي لنظام توصيل الأدوية المستهدف بالإضافة إلى تنقية الملوثات الميكروبية [171]. إتلاف بنية غشاء الخلية الإشريكية القولونية ومسار موت الخلايا المبرمج بوساطة الإجهاد التأكسدي [172]. يمكن استخدامه بشكل فعال كمواد قابلة لإعادة التدوير مغناطيسيًا لإزالة الملوثات الكيميائية مثل الأصباغ وكذلك الملوثات البيولوجية من المياه / معالجة مياه الصرف الصحي [173] . تمتلك الجسيمات النانوية المصنوعة من الفريت الزنك المركبة قدرة على توصيل الأدوية [174].

## 7.4.2.3.2 اختبار سمية فريت الزنك ($ZnFe_2O_4$) النانوي على خط الخلايا HUVEC

## Toxicity test of nano zinc ferrite ($ZnFe_2O_4$) on HUVEC cells

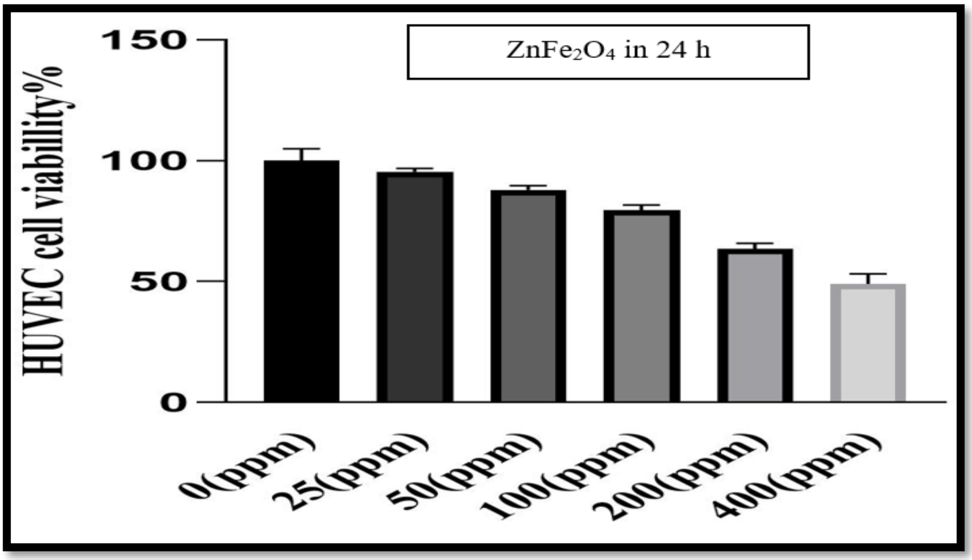
تمت دراسة سمية الخلوية لجسيمات فريت الزنك ($ZnFe_2O_4$) النانوي على خطوط خلايا HUVECوذلك من خلال اجراء اختبار MTT في تراكيز مختلفة من (400,200,100,50,25µg/ml) خلال 24 و48 ساعة بالمقارنة مع المجموعة الضابطة. أظهرت النتائج تركيز نسبة بقاء خلايا HUVEC بعد مرور 24 ساعة من اضافة فريت الزنك ($ZnFe_2O_4$) النانوية عند تركيز(25µg/ml) كانت 95.40% مما يدل على عدم تأثير هذا التركيز القليل على الخلايا HUVEC لكن نجد أن نسبة بقاء الخلايا HUVEC عند تركيز (50µg/ml) كانت87.94% اذ قلت النسبة مما يدل على أن هناك علاقة بين زيادة التركيز ونسبة الفعالية أو القتل بينما نسبة بقاء الخلايا عند تركيز( 100µg/ml) كانت 79.59% وفي تركيز(200 µg/ml) كانت نسبة بقاء الخلايا HUVEC 63.54% لكن عند تركيز (400µg/ml) كانت نسبة بقاء الخلايا HUVEC 49.06% مما يدل على نقصان عدد الخلايا الحية بنسبة أكثر من النصف ،كما مبين في جدول (20.2) و شكل (74.2).

**جدول (20.2) يبين السمية الخلوية فريت الزنك النانوي في 24 ساعة لخلايا HUVEC**

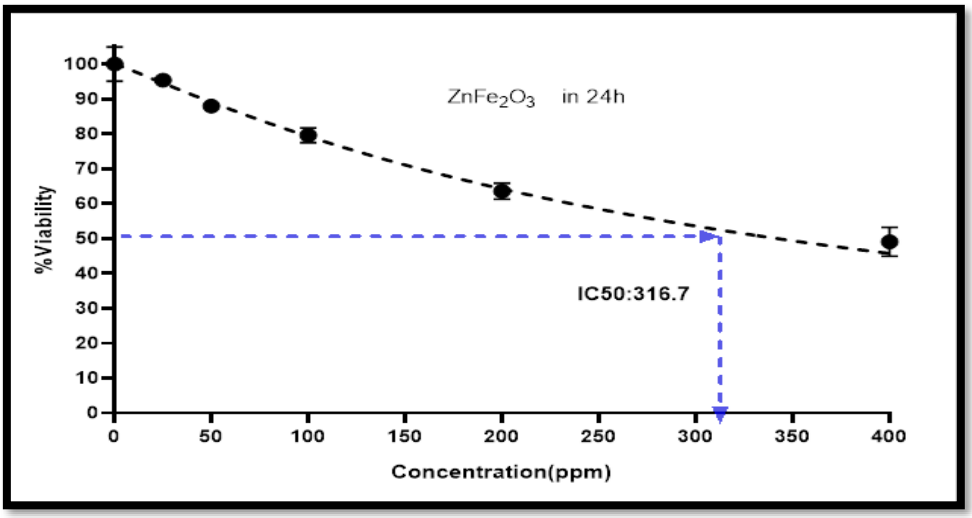
| Concentration | R1% | R2% | R3% | Mean% | SD |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 95.61338 | 99.06313 | 105.3238 | 100.0001 | 4.92254 |
| 25 | 93.95239 | 95.61338 | 96.63553 | 95.40043 | 1.354185 |
| 50 | 87.05289 | 89.99157 | 86.79736 | 87.94727 | 1.775016 |
| 100 | 77.34249 | 79.89786 | 81.55885 | 79.59974 | 2.12393 |
| 200 | 62.13805 | 62.26582 | 66.22664 | 63.5435 | 2.324543 |
| 400 | 45.27262 | 48.46683 | 53.4498 | 49.06308 | 4.121068 |

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي فريت الزنك ($ZnFe_2O_4$) النانوي على خلايا HUVEC في 24 ساعة باستعمال برنامج (Graph Pad Prism 8.0) استخدم تحليل التباين وحيد الاتجاه (One way ANOVA) لاستدلال على المعنوية ، إذ حيث بلغت قيمة (0.0005 >P-value) وهناك فرق معنوي كبير بين التركيز ونسبة بقاء الخلايا ( Significant

(0.9464) تساوي R square وكانت قيمة (diff. Among means (P < 0.05) yes مما يدل على وجود علاقة ارتباطية قوية بين المتغيرات كما تم قياس تركيز للتثبيط النصفي half maximal inhibitory concentration (IC50) فريت الزنك النانوي على خلايا HUVEC في 24 ساعة باستعمال برنامج (Graph Pad Prism 8.0) استخدام تحليل normalized response وكانت قيمة (IC50=316)، كما مبين في الشكل (75.2)




**شكل (74.2) اختبار MTT ل فريت الزنك ($ZnFe_2O_4$) النانوي على HUVEC في 24 ساعة**



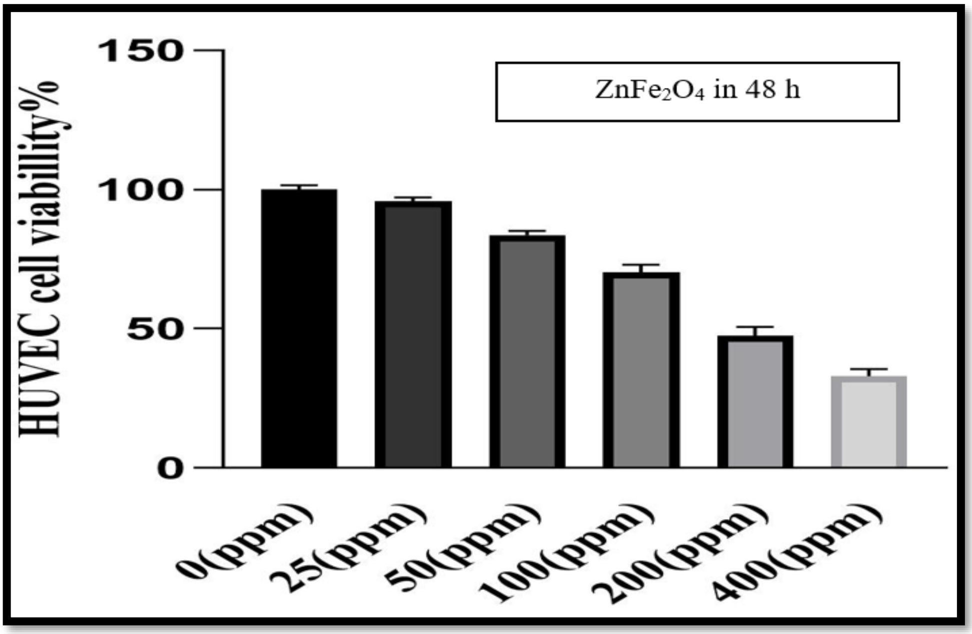

**الشكل (75.2) IC50 ل فريت الزنك ($ZnFe_2O_4$) النانوي في 24 ساعة**

بينما أظهرت النتائج الواردة في جدول (21.2) السمية الخلوية وتم فحصها في تراكيز مختلفة (من 25 إلى 400 ميكروجرام/مل) بالمقارنة مع المجموعة الضابطة أظهرت النتائج أن تركيز نسبة بقاء الخلايا HUVEC بعد مرور48 ساعة من إضافة فريت الزنك ($ZnFe_2O_4$) عند تركيز(25µg/ ml) كانت 95.84% مما يدل على أن هناك علاقة بين عامل الوقت والتركيز على نسبة بقاء الخلايا HUVEC لكن نجد أن نسبة بقاء الخلايا HUVEC عند تركيز(50µg/ ml) كانت83.66% قلت النسبة مما يدل على أن هناك علاقة بين زيادة التركيز ونسبة الفعالية أو القتل بينما نسبة بقاء الخلايا عند تركيز 100) µg/ ml)كانت 70.36% ، إذ حيث يظهر أن النسبة قلت وفي تركيز(200 µg/ml) كانت نسبة بقاء الخلايا HUVEC 47.54% ، إذ حيث يظهر أن النسبة قلت إلى النصف لكن عند تركيز(400 µg/ml) كانت نسبة بقاء الخلايا HUVEC 33.08% مما يدل على نقصان عدد الخلايا الحية بنسبة اكثر من النصف ،كما مبين في جدول (21.2) و الشكل (76.2)

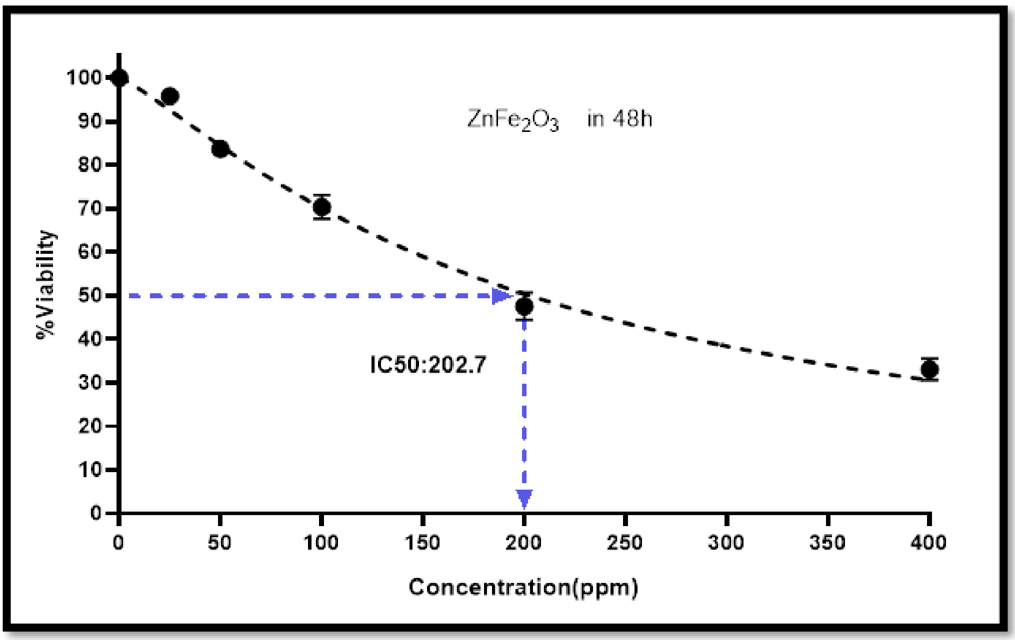
**جدول (21.2) يبين السمية الخلوية فريت النحاس النانوي في 48 ساعة لخلايا HUVEC**

| Concentration | R1% | R2% | R3% | Mean% | SD |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 101.8288 | 98.83625 | 99.335 | 100 | 1.603267 |
| 25 | 94.47216 | 95.84373 | 97.2153 | 95.84373 | 1.371571 |
| 50 | 82.37739 | 85.36991 | 83.25021 | 83.66584 | 1.538945 |
| 100 | 68.03824 | 69.65919 | 73.39984 | 70.36576 | 2.749746 |
| 200 | 45.71904 | 51.20532 | 45.71904 | 47.5478 | 3.167508 |
| 400 | 33.3749 | 35.36991 | 30.50707 | 33.08396 | 2.444442 |

بينما أظهرت نتائج التحليل الإحصائي فريت الزنك ($ZnFe_2O_4$) النانوي على خلايا HUVEC في 48 ساعة ، إذ حيث بلغت قيمة (P-value<0.0016) وهناك فرق معنوي كبير بين التركيز ونسبة بقاء الخلايا ( Significant diff. Among means (P < 0.05) yes) وكانت قيمة R square تساوي (0.9097) مما يدل على وجود علاقة ارتباطية قوية بين المتغيرات. كما تم قياس تركيز للتثبيط النصفي half maximal inhibitory concentration (IC50) فريت الزنك النانوي على خلايا HUVEC في 48 ساعة باستعمال برنامج ((Graph Pad Prism 8.0) استخدام تحليل normalized response وكانت قيمة (IC50=202)، كما مبين في الشكل (77.2)




شكل (76.2) اختبار MTT ل فريت الزنك ($ZnFe_2O_4$) النانوي على HUVEC في 48 ساعة




الشكل (77.2) IC50 ل فريت الزنك ($ZnFe_2O_4$) النانوي في 48 ساعة

تشكل NPs أكسيد الحديد المغناطيسي أحد أكثر الأنظمة المهمة في مجال الطب الحيوي. لأنه يمتلك سمية منخفضة، توافق حيوي، خصائص مغناطيسية ممتازة (مغناطيسية فائقة) وسهلة وتنوع الوظائف السطحية، فتح مجموعة واسعة من التطبيقات الطبية الحيوية الممكنة. وأجهزة الاستشعار الحيوية، وكذلك الوظائف العلاجية، مثل ارتفاع الحرارة المغناطيسي ، وتجديد الأنسجة [175] أو العلاج الجيني . وقد أدت التطورات الحديثة في طب النانو إلى ذلك تطوير المواد النانوية الذكية، والجمع بين كل من التشخيص والوظائف العلاجية، توفير تأثيرات تآزريه تُعرف باسم "العلاجات التشخيصية [176] تعتبر الإسبنيل الحديدية مرشحة جيدة لهذه الأغراض. على وجه التحديد، فريت الزنك NPs ($ZnFe_2O_4$)، تبرز ضد بقية الفريت بسبب الاستقرار الكيميائي والحراري وانخفاض سميتها. نظرًا لأن Fe وZn مرتبطان معا في عدد كبير من العمليات البيولوجية، فمن المتوقع أن يكونا كذلك يمكن دمجها بأمان في المركبات المتغيرة لكلا العنصرين. بالإضافة إلى ذلك، يتمتع هذا النظام بخصائص مغناطيسية مميزة بسبب الطبيعة غير المغناطيسية لذرة الزنك، مما يجعل تعديلها وتحسينها ممكنًا ببساطة عن طريق ضبط الموقع الكيميائي على NPs. يتطلب الاستخدام المحتمل لـ NPs الفريت الزنك في الطب الحيوي دراسة متعمقة للسمية المحتملة الناجم عن إدارة NPs. أفادت دراسات سابقة عن تحريض الكروموسومات انحراف في خلايا الجذرية الإنشائية ، توليد السمية الخلوية والجينية في خط خلايا السلى البشري الظهاري ،السمية الخلوية والإجهاد التأكسدي في الخلايا البشرية ، وكذلك كنشاط مضاد للأكسدة[177]. ومع ذلك، فإن عدم وجود توافق في الآراء التجريبية الشروط (الأساليب والمواد وخطوط الخلايا المستخدمة) تجعل من الصعب الحصول على استنتاجات بناءة. أيضًا، يجب أن يكون تقييم السمية النانوية مصحوبًا بتوصيف دقيق لـ الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمادة. وهذا يسلط الضوء على الحاجة إلى إنشاء سمية نانوية معيارية بروتوكولات من أجل الاستفادة من التطبيقات الطبية الحيوية الواعدة التي تقدمها NPs. علاوة على ذلك، ليس من غير المألوف الحصول على نتائج متناقضة في المختبر وفي الجسم الحي، بالنظر إلى الحجم الكبير عدد العمليات البيولوجية التي تحدث في الجسم والتي يصعب تكاثرها في المختبر.[178].

## 4.2 اختبار تثبيط مركبات الاسبنيل النانوية للبكتيريا

## Inhibition test compounds spinel nanoparticles for bacteria

اختيرت الإشريكية القولونية أو العصيات القولونية هذه البكتريا لاختبار التضاد كونها تعد أحد أهم مسببات الأمراض المنقولة عن طريق المياه وخاصة حالات الاسهال الشديدة لدى الاطفال فضلا عن بقية افراد العائلة المعوية Enterobacteriaceae التي تنتمي اليها هذه البكتريا.

### 1.4.2 عزل وتشخيص البكتريا من مياه النهر

1. تم جمع العينات من مياه نهر المرادية (خلف جامعة ديالى/موقع المرادية) على عمق 30 سم باستخدام قناني بلاستيكية معقمة وتم غلقها بإحكام مباشرة قبل نقلها الى المختبر الاحياء المجهرية (قسم التقانة الاحيائية/كلية العلوم/جامعة ديالى) لإجراء بقية خطوات العمل الاتية:
2. زرعت 100 µl من عينات من المياه على وسط MacConkey agar وبواقع ثلاث مكررات وحضنت بدرجة 37م لمدة 24 ساعة في ظروف هوائية.
3. بعد فترة الحضانة، تم تحديد المستعمرات النامية ونقلها (sub-culturing) إلى وسط MacConkey agar جديد وحضنت بدرجة حرارة 37م لمدة 24 ساعة. حفظت الاطباق في الثلاجة بدرجة حرارة 4م لحين تشخيص البكتريا.
4. تم تشخيص البكتريا النامية بناء على الصفات المظهرية للمستعمرات النامية والفحص المجهري الاختبارات الكيموحيويةBiochemical Tests ونموها على وسط Eosin methylene blue agar في مختبر الاحياء المجهرية التابع إلى قسم التقانة الاحيائية/كلية العلوم/جامعة ديالى ثم جرى الفحص التأكيدي باستعمال جهاز VITEK® 2 Compact system.
5. حفظت العزلة المشخصة بواقع ثلاث أطباق من وسط Nutrient agar في ثلاجة المختبر لحين الاستعمال.

### 2.4.2 تحضير عالق بكتريا

حضر عالق البكتريا في وسط Mueller Hinton Broth وذلك برفع 4-5 مستعمرات مفردة من البكتريا المنشطة ومزجها في الوسط السائل باستعمال جهاز المازج Vortex ثم

مقارنة الانبوبة مع انابيب ماكفرلاند القياسية ليكون تركيز الخلايا في العالق حوالي ( 1.5 $x\ 10^8$ cfu/ml).

## 5.2 تحضير محاليل مركبات الاكاسيد النانوية
## Preparation of solutions of nano oxides

حضر محلول كل مركب نانوي بخمسة تراكيز مضاعفة (200 µg/ml، 400، 600، 800، 1000) في ماء مقطر منزوع الايونات ومزجت باستعمال جهاز الحمام المائي ذو الأمواج فوق الصوتية Ultrasonic water bath واستعملت مباشرة في اختبار التضاد.

### 1.5.2 اختبار التضاد الاولي لمركبات الاكاسيد النانوية
### Primary antibacterial test compounds oxides nanoparticles

لغرض التعرف على تأثير التضاد لهذه المركبات ( $CoFe_2O_4$, $NiFe_2O_4$ , $CuFe_2O_4$, $ZnFe_2O_4$) تجاه بكتريا *E. coli* المعزولة من مياه النهر، اجري الاختبار بطريقة Microdilution method في أنابيب Eppendorf tubes تحتوي على 100 µl من كل تركيز من مركبات الاكاسيد النانوية و100µl من عالق البكتريا ليكون التركيز النهائي للمركبات (500,400,300,200,100) µg/ml. حضنت الأنابيب بدرجة حرارة 37م لمدة 24 ساعة. بعد فترة الحضانة تم اخذ 100 µl من كل أنبوب ونشر على وسط MacConkey agar واعيد حضن الاطباق بدرجة حرارة 37م لمدة 24 ساعة. نشر 100 µl من عالق البكتريا فقط على نفس الوسط كمعاملة سيطرة سالبة. جرى فحص الأطباق ومقارنتها مع أطباق السيطرة السالبة بعد مرور 24 ساعة.

### 2.5.2 الاختبار الثانوي لمركبات الاكاسيد النانوية
### Secondary testing of compounds oxides nanoparticles

بناء على نتائج اختبار التضاد الأولى (1.5.2) تم إجراء اختبار التضاد الثانوي باستعمال تراكيز نهائية أعلى من مركبات الاكاسيد النانوية شملت (500 µg/ml، 600، 700، 800، 1000) وبطريقة Microdilution method ولكن في الصفائح العيارية الدقيقة Microplate. جرى الاختبار وفق الخطوات الأتية:

- حضر محلول كل مركب بخمسة تراكيز مضاعفة (1000 µg/ml، 1200، 1400، 1600، 2000) في ماء مقطر منزوع الايونات ومزجت باستعمال جهاز

الحمام المائي ذو الأمواج فوق الصوتية Ultrasonic water bath واستعملت مباشرة في اختبار التضاد.

- أضيف 100 µl من محول مركب الأوكسيد النانوي إلى حفر صفائح العيارية الدقيقة
  Microtiter plate بواقع ثلاث مكررات لكل تركيز.
- أضيف الى كل حفرة 100 µl من المزروع البكتيري المحضر بالفقرة (2.6.2).
- أضيف 200 µl من المزروع البكتيري بواقع ثلاث مكررات كمعاملة سيطرة سالبة.
- حضنت الصفيحة بدرجة حرارة 37م ولمدة 24 ساعة ثم قيست الامتصاصية الضوئية على طول موجي 630 نانوميتر بوساطة جهاز قارئ امتصاصية الصفائح الدقيقة Microplate Reader.
- حسبت النسبة المئوية لتثبيط نمو البكتريا (Growth Inhibition %) بوساطة مركبات الأكاسيد النانوية كما في المعادلة الاتية:

النسبة المئوية للتثبيط (%) = (امتصاصية معاملة السيطرة السالبة – امتصاصية المعاملة) / امتصاصية معاملة السيطرة السالبة x 100

## 6.2 اختبار السمية الخلوية Cytotoxicity assay

جرى تقييم السمية الخلوية لمركبات الاكاسيد النانوية تجاه خطوط خلايا الجلد الطبيعية Human umbilical vein endothelial cells (HUVECs) وذلك بواسطة اختبار MTT. نميت خطوط الخلايا في أوعية بلاستيكية معقمة cell culture flasks خاصة تحتوي على الوسط الغذائي IRPM للحصول على تركيز $10^5$ x 1 cell/ml. حضنت الأوعية المزروعة في حاضنة مجهزة بغاز ثاني أوكسيد الكاربون بتركيز 5% بدرجة حرارة 37C° لمدة 5 أيام مع المتابعة اليومية للتأكد من خلوها من التلوث الميكروبي وذلك بفحصها بوساطة المجهر المقلوب Inverted microscope. حضرت تراكيز مضاعفة من الأكاسيد النانوية في الماء المقطر منزوع الايونات ووزعت في حفر الصفيحة الدقيقة Microplate. حضرت صبغة MTT في محلول الفوسفات الدارىء phosphate buffer saline وجرى ترشيحها باستعمال مرشحات دقيقة Millipore filter (0.22µm) وحفظت في الثلاجة لحين الاستعمال.

## 1.6.2 طريقة العمل The method of work

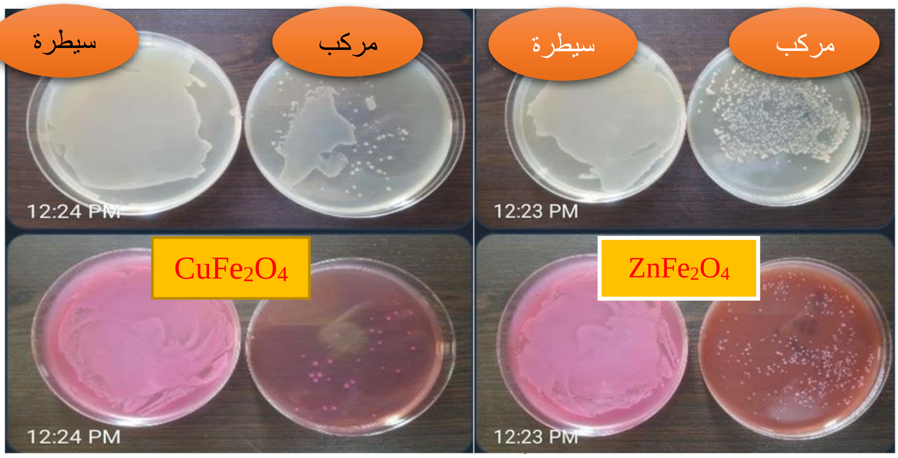
وزع عالق الخلايا على حفر الصفيحة الدقيقة بواقع 100 µl وحضنت لمدة 24 ساعة عند درجة حرارة $37C^0$ بوجود 5% غاز ثاني أوكسيد الكاربون. أضيف لكل منها 100 µl من كل تركيز مضاعف من محاليل المركبات النانوية وبواقع ثلاث مكررات واعيد حضن الطبق تحت نفس الظروف. بعد فترة الحضانة تمت إضافة 10 µl من محلول صبغة MTT إلى كل حفرة واعيد حضن الطبق تحت نفس الظروف لمدة 5 ساعات. جرى قراءة التغير اللوني لكل حفرة بوساطة جهاز قارئ الصفائح الدقيقة Microplate reader عند طول موجي 570 nm. تكونت معاملة السيطرة الأولى من عالق الخلايا فقط، فيما تكونت معاملة السيطرة الثانية من عالق الخلايا مضافا لها الماء المقطر منزوع الايونات. جرى حساب نسبة تثبيط نمو الخلايا من خلال المعادلة الأتية:

$$\text{النسبة المئوية للتثبيط (\%)} = \frac{\text{قراءة معاملة السيطرة – قراءة معاملة}}{\text{قراءة معاملة السيطرة}} \times 100$$

## 2.6.2 اختبار التضاد لمركبات الاسبنيل النانوية تجاه بكتيريا E. coli

## Antagonism test of spinel nanocomposites against E. coli

أظهرت المركبات الاسبنيل النانوية فعالية تجاه بكتيريا *E. coli* حيث يبين الشكل (78.2) ان الجهة اليسرى معاملة السيطرة والجهة اليمنى معاملة بالمركب الاسبنيل النانوي حيث ان اللون الوردي يعود الى الماكو نكي واللون الأبيض هو الاكار المغذي.




**الشكل (78.2) اختبار التضاد لمركبات الاكاسيد النانوية تجاه بكتريا E. coli**

## 7.2 الملخص والمستقبل المرتقب للجسيمات النانوية

## Abstract and prospective future of nanoparticles

يتزايد استخدام الجسيمات النانوية المعدنية بشكل كبير في جميع أنحاء العالم في مجالات مختلفة مثل علوم المواد والفيزياء والكيمياء والطب الحيوي. إن تركيب الهياكل النانوية ديناميكي للغاية وعملية معقدة. عدة طرق مثل ترسيب البخار الفيزيائي، ترسيب البخار الكيميائي، طرق هلام محلول غرواني ، الاختزال الكيميائي ، الطريقة الحرارية المائية ، طريقة الذوبان الحراري ، الانحلال الحراري بالرش ، الاجتثاث بالليزر ، الانحلال الحراري للهب ، طريقة التوليف الأخضر ، عملية الترسيب الكهربائي ، تقنية الميكروويف ، عملية ترسيب السوائل فوق الحرج ، وتقنية الصوت فوق الصوتي لتجميع الجسيمات النانوية من التشكل الصحيح. كل طريقة لها مزاياها الخاصة. التوليف الأخضر لتخليق الجسيمات النانوية مستدام، صديقة للبيئة وغير مكلفة وخالية بشكل عام من الملوثات الكيميائية .على الرغم من ظهور العديد من الطرق بنجاح للجسيمات النانوية التوليف، تقنيات أكثر دقة مطلوبة للتغلب على القيود الأساليب الحالية والتنفيذ السليم على المستوى التجاري. أصبحت الحياة مثيرة للاهتمام بسبب اختراع تقنيات جديدة كل يوم. غالبًا ما تؤدي الأحلام البشرية إلى ظهور تقنية جديدة. ولدت تقنية النانو من هذه الأحلام. إنها القدرة على فهم المادة والتحكم فيها ومعالجتها على مستوى الذرات والجزيئات الفردية، وهي نوع من الهندسة التي تنطوي على التلاعب بالذرات الفردية. تقنية النانو هي مجال متعدد التخصصات يغطي الهندسة والفيزياء والكيمياء والبيولوجيا. فيما يقرب من خمسة عقود، أصبحت تقنية النانو الأساس لتطبيقات صناعية رائعة. يمكن اعتبار القرن الحادي والعشرين قرن تكنولوجيا النانو. في المستقبل، يمكن لتقنية النانو أيضًا أن تمكن الأشياء من تجميع الطاقة من بيئتها. لقد ساعد في إنشاء بطاريات يمكنها تخزين المزيد من الطاقة للسيارات الكهربائية ومكنت الألواح الشمسية من تحويل المزيد من ضوء الشمس إلى كهرباء. الأشياء الصغيرة تتصرف بشكل مختلف ولا تنطبق القواعد القديمة، فالعديد من الأمراض المسببة للبكتيريا والفيروسات تكون بحجم النانو، والقياس على مستوى تكنولوجيا النانو هو نانومتر (نانومتر). يوضح الشكل 1 الفروق في المقياس التي تتراوح من قطر الشعرة إلى ذرة هيدروجين واحدة. بدأت تقنية النانو في الازدهار في السنوات الأخيرة بسبب تطوير أدوات جديدة تسمح للباحثين بمراقبة المادة ومعالجتها على المستوى النانوي.قدم ريتشارد فايمان ، الفيزيائي الحائز على جائزة نوبل ، تقنية النانو للعالم في عام 1959. مصطلح "تكنولوجيا النانو" تم صياغته في عام 1974 من قبل نوريو تانيغوتشي ، الأستاذ في جامعة طوكيو للعلوم. أن المواد لها خصائص فريدة جديدة. إنه علم الأشياء الصغيرة -

على المستوى الذري أو المستوى النانوي. تشمل تقنية النانو أيضًا مجالات مثل علم النانو، والمواد النانوية، وطب النانو، والقياس النانوي، والمعالجة النانوية، والإلكترونيات النانوية، والروبوتات النانوية. تتوفر الآن التقنيات التي تجعل من الممكن معالجة المواد على النطاق الذري أو الجزيئي لإنتاج أشياء لا يزيد قطرها عن بضع نانومترات. تُعرف العمليات المستخدمة لصنع مثل هذه المواد ومعالجتها بتقنية النانو، وتسمى المواد أو الأشياء نفسها المواد النانوية، وتُعرف دراسة واكتشاف هذه المواد باسم علم النانو. يمكن اعتبار تقنية النانو على أنها معالجة خاضعة للرقابة للمواد النانوية ذات بعد واحد على الأقل أقل من 100 نانومتر. وبالتالي، فإن المواد النانوية هي في الأساس مواد أو مواد كيميائية يتم تصنيعها واستخدامها على نطاق صغير جدًا. يمكن هندسة المواد النانوية من المعادن وأي مادة كيميائية تقريبًا. لقد تم تصنيع المواد النانوية المهندسة بشكل متعمد من قبل البشر للحصول على بعض الخصائص المطلوبة. يمكن أيضًا إنتاج المواد النانوية بشكل عرضي كمنتج ثانوي للعمليات الميكانيكية أو الصناعية. يتم إعادة تشكيل الفوليرين ، ورقائق الجرافين ، وأنابيب الكربون النانوية أحادية الجدار ، والجسيمات النانوية ، وما إلى ذلك كمواد نانوية. إنها أقوى 100 مرة من الفولاذ ولكنها أخف ست مرات. تستخدم المواد النانوية على نطاق واسع في التطبيقات الاستهلاكية والصناعية. لديهم أيضًا تطبيقات محتملة في القطاع العسكري. تمتلك تقنية النانو فكرة أن تكنولوجيا المستقبل ستبنى على الذرات. لها تأثير على كل مجال من مجالات العلم والتكنولوجيا. تتضمن تقنية النانو التصوير والقياس والنمذجة ومعالجة المادة على نطاق النانو. في هذا المستوى، تختلف الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للمواد اختلافًا جوهريًا عن خصائص الذرات الفردية والجزيئات أو المواد السائبة. تغطي تقنية النانو مجموعة متنوعة من التخصصات مثل الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا والتكنولوجيا الحيوية وتكنولوجيا المعلومات، الهندسة وتطبيقاتها المحتملة. غالبًا ما يشار إلى تقنية النانو باسم "تقنية المستقبل" التي يمكنها حل العديد من المشكلات. حتى أن البعض يتحدث عن ثورة في تكنولوجيا النانو. من المؤكد أن تقنية النانو تجلب فوائد وإمكانات هائلة، ولكن حقيقة أن أحدث التقنيات لها مخاطرها، وأقل بكثير من الاستكشاف، يجب أن تكون معروفة للجميع. يُزعم أنه يمكن أيضًا حل المشكلات البيئية مثل التلوث وتغير المناخ. ومع ذلك، هناك أيضًا خصائص سلبية تستلزمها تقنية النانو. على سبيل المثال، يتطلب تطوير الجسيمات النانوية القابلة للاستخدام استهلاكًا هائلاً للطاقة والمياه بالإضافة إلى استخدام المذيبات والمواد الكيميائية السامة. بالإضافة إلى ذلك، فإن استخدام عبوات النانو يعزز العمر الافتراضي الطويل للأطعمة، وهذا بدوره يعني أن الطعام يستمر في النقل لمسافات طويلة. يعلم الجميع أن النقل العالمي هو عبء بيئي كبير. بالنسبة للبشر، تظهر المخاطر عندما يتم تناول مثل هذه المبيدات النانوية عن طريق الطعام، حيث لا يمكن

للبحث بعد أن تتوقع كيف يمتص جسم الإنسان هذه المواد ويحللها. وفي الختام ، تجاوزت تقنية النانو نطاق قصص الخيال العلمي. تهتم تقنيات النانو الآن بشكل أساسي بتكوين المواد، لكن تطبيقاتها المحتملة تتجاوز ذلك بكثير. شهدت تقنية النانو نموًا مزدهرًا، وهي مستخدمة جيدًا ويمكن أن تكون أساسية في المستقبل القريب. لقد أحدثت تأثيرًا إيجابيًا على الحياة في قطاعات الطب والغذاء والطاقة التي يمكن أن تغير حياتنا مما يجعلها تستحق قصة خيال علمي. أصبح هذا ممكنًا فقط بسبب الخطاب الثوري لريتشارد فاينمان حيث قاد تأسيس هذه الصناعة وحفز الآخرين على استكشاف هذه التكنولوجيا. في المستقبل ، من المتوقع استخدام تطبيقات أكثر تقدمًا لتقنية النانو نظرًا لخصائصها الفريدة.[179]

**جدول (21.3) يبين نتائج التشخيص النهائية لأكاسيد الاسبنيل النانوية**

| Concentration ( µg/ ml) | Viability% HUVEC (24h) | Killing Cell% HUVEC (24h) | Viability% HUVEC (48h) | Killing Cell% HUVEC (48h) |
|---|---|---|---|---|
| 25 | 98.68017 | 1.32 | 93.97382 | 6.03 |
| 50 | 90.24746 | 9.76 | 81.79593 | 18.21 |
| 100 | 83.17761 | 16.83 | 72.77681 | 27.23 |
| 200 | 66.56773 | 33.44 | 50.79011 | 49.21 |
| 400 | 48.59498 | 51.41 | 20.74023 | 79.62 |

**جدول (22.3) يبين نسبة القتل لاسبنيل الحديد النانوي في 24 و48 ساعة لخلايا HUVEC**

| **Compound** | **X-ray (nm)** | **SEM (nm)** | **Sa (pm)** | **Sq (pm)** | **Ave. (nm) Diameter** |
|---|---|---|---|---|---|
| $Fe_3O_4$ | 38.19 | 95.98 | 201 | 561 | 53.2 |
| CoFe2O4 | 20.17 | 55.75 | 178 | 471 | 124 |
| NiFe2O4 | 30.70 | 94.79 | 207 | 351 | 71.9 |
| CuFe2O4 | 30.62 | 107.24 | 122 | 250 | 66.4 |
| ZnFe2O4 | 29.13 | 44.99 | 58.1 | 85.2 | 81.4 |

**جدول (23.3) يبين نسبة القتل فريت الكوبالت النانوي في 24 و48 ساعة لخلايا HUVEC**

| Concentration ( µg/ ml) | Viability% HUVEC (24h) | Killing Cell% HUVEC (24h) | Viability% HUVEC (48h) | Killing Cell% HUVEC (48h) |
|---|---|---|---|---|
| 25 | 105.0682 | -5.06 | 95.55279 | 4.45 |
| 50 | 91.90802 | 8.1 | 85.28679 | 14.74 |
| 100 | 76.49064 | 23.51 | 59.43475 | 40.57 |
| 200 | 59.96593 | 40.04 | 38.69493 | 61.31 |
| 400 | 38.54345 | 61.46 | 22.52702 | 77.48 |

**جدول (24.3) يبين نسبة القتل فريت النيكل النانوي في 24 و48 ساعة لخلايا HUVEC**

| Concentration ( µg/ ml) | Viability% HUVEC (24h) | Killing Cell% HUVEC (24h) | Viability% HUVEC (48h) | Killing Cell% HUVEC (48h) |
|---|---|---|---|---|
| 25 | 91.65256 | 8.35 | 85.28682 | 14.72 |
| 50 | 82.87913 | 17.13 | 71.65424 | 28.35 |
| 100 | 76.14999 | 23.86 | 59.43479 | 40.57 |
| 200 | 56.47365 | 43.53 | 46.71658 | 53.29 |
| 400 | 38.28795 | 61.72 | 19.40985 | 80.6 |

**جدول (25.3) يبين نسبة القتل فريت النحاس النانوي في 24 و48 ساعة لخلايا HUVEC**

| Concentration ( µg/ ml) | Viability% HUVEC (24h) | Killing Cell% HUVEC (24h) | Viability% HUVEC (48h) | Killing Cell% HUVEC (48h) |
|---|---|---|---|---|
| 25 | 104.4302 | -4.43 | 99.70906 | 0.3 |
| 50 | 97.87139 | 2.13 | 88.44556 | 11.56 |
| 100 | 91.3552 | 8.65 | 79.92519 | 20.08 |
| 200 | 75.98042 | 24.02 | 64.87947 | 35.13 |
| 400 | 67.03663 | 32.97 | 45.38654 | 54.62 |

**جدول (26.3) يبين نسبة القتل فريت الزنك النانوي في 24 و48 ساعة لخلايا HUVEC**

| Concentration ( µg/ ml) | Viability% HUVEC (24h) | Killing Cell% HUVEC (24h) | Viability% HUVEC (48h) | Killing Cell% HUVEC (48h) |
|---|---|---|---|---|
| 25 | 95.40043 | 6.4 | 95.84373 | 4.16 |
| 50 | 87.94727 | 12.06 | 83.66584 | 16.34 |
| 100 | 79.59974 | 20.41 | 70.36576 | 29.64 |
| 200 | 63.5435 | 36.46 | 47.5478 | 52.46 |
| 400 | 49.06308 | 50.94 | 33.08396 | 66.92 |

**جدول (27.3) يبين IC50 في 24 و48 ساعة لخلايا HUVEC**

| **Compound** | **IC50 HUVEC 24 h** | **IC50 HUVEC 48 h** |
|---|---|---|
| $Fe_3O_4$ | 340 | 200 |
| CoFe2O4 | 221 | 147 |
| NiFe2O4 | 238 | 139 |
| CuFe2O4 | 374 | 311 |
| ZnFe2O4 | 316 | 202 |

# الفصل الثالث

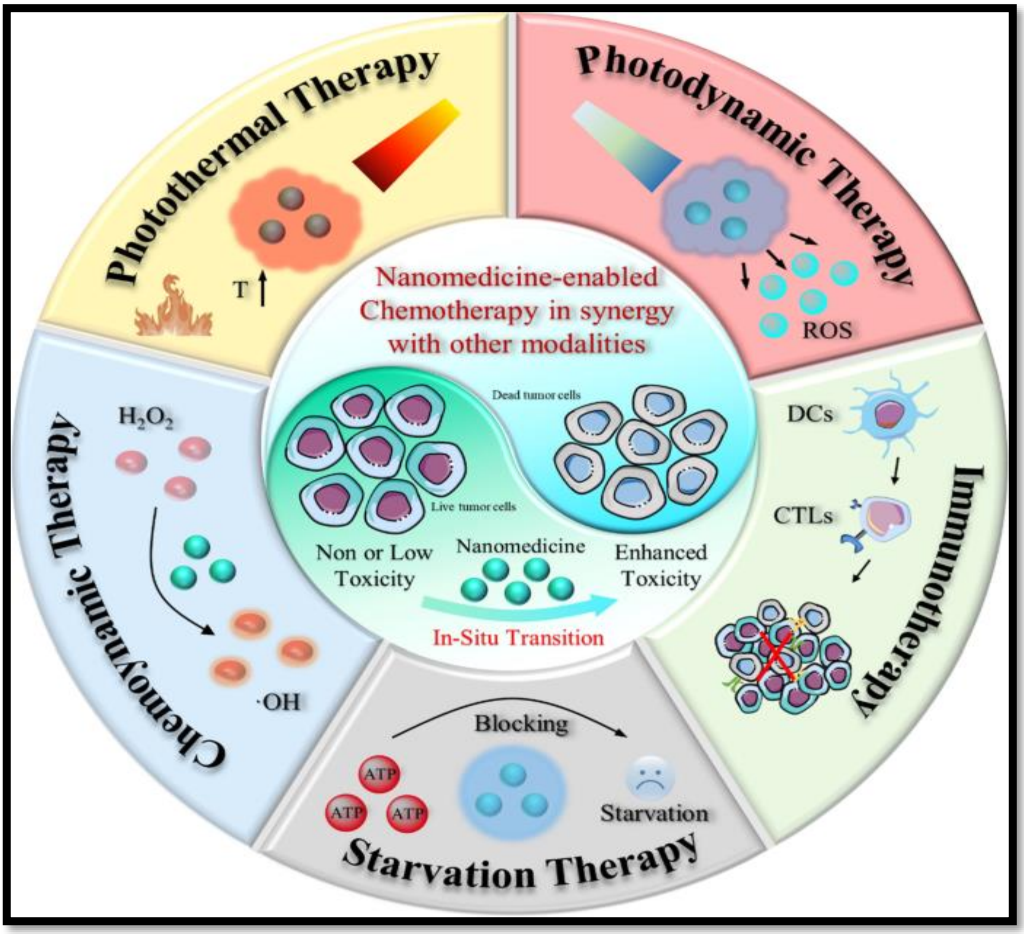
# تطبيقات تقنية النانو

# nanotechnology applications

## 1.3 الطب النانوي Nanomedicine

يعد طب النانو أحد أسرع المجالات نموًا في مجال تكنولوجيا النانو، هو تطبيق لتقنية النانو لتحقيق الابتكار في مجال الرعاية الصحية. يستخدم الخصائص التي طورتها مادة بمقياسها النانوي من 10 إلى 9 أمتار والتي تختلف غالبًا من حيث الفيزياء أو الكيمياء أو البيولوجيا من نفس المادة على نطاق أكبر. فإن الحجم النانو متري هو أيضًا مقياس العديد من الآليات البيولوجية في جسم الإنسان التي تسمح للجسيمات النانوية والمواد النانوية بعبور الحواجز الطبيعية للوصول إلى مواقع جديدة للتوصيل والتفاعل مع الحمض النووي أو البروتينات الصغيرة على مستويات مختلفة، في الدم أو داخل الأعضاء، الأنسجة أو الخلايا. يمتلك الطب النانوي القدرة على تمكين الاكتشاف المبكر والوقاية وتحسين التشخيص والعلاج والمتابعة بشكل كبير للعديد من الأمراض بما في ذلك السرطان ولكن ليس فقط. بشكل عام، لدى طب النانو في الوقت الحاضر مئات المنتجات تحت التجارب السريرية، والتي تغطي جميع الأمراض الرئيسية بما في ذلك أمراض القلب والأوعية الدموية، والتنكس العصبي، والعضلات الهيكلية، والالتهابات. التقنيات التمكينية في جميع مجالات الرعاية الصحية، يمثل طب النانو بالفعل ما يقرب من 80 منتجًا مسوقًا، بدءًا من التوصيل النانوي والمستحضرات الصيدلانية إلى التصوير الطبي والتشخيص والمواد الحيوية. وهو مهيأ لإحداث ثورة في الرعاية الصحية والطب من خلال أدوات تشخيصية وعلاجية تحويلية جديدة. تدعم الكيمياء التقدم في طب النانو، حيث توفر مواد وظيفية جديدة بالإضافة إلى أحدث التقنيات الكيميائية الحيوية والتحليلية. الهدف الرئيسي من هذه القضية الموضوعية هو توفير مسح واسع لكيفية تطوير المواد والأدوات والتقنيات والرؤى التي يوفرها علم النانو لفهمنا للطب الحيوي وتوليد أدوات جديدة لتحقيق هدف تحسين صحة الإنسان. تم تصنيع العديد من المواد ذات البنية النانوية لتطبيقات متنوعة، بما في ذلك التصوير الطبي الحيوي، والاستشعار الحيوي، والتشخيص والعلاج. تلعب خصائصها الفيزيائية المعتمدة على الحجم وأبعاد مقياس النانومتر أدوارًا مهمة في الأنظمة البيولوجية. على سبيل المثال، قدم تشين ولي وزملاؤه أنواعًا مختلفة من أجهزة استشعار النانو شديدة الحساسية لاكتشاف العلامات الحيوية. تم فحص الجسيمات النانوية المغناطيسية على نطاق واسع للتصوير بالرنين المغناطيسي(MRI) ، وارتفاع الحرارة، وتسليم الأدوية المستهدف، والاستشعار الحيوي وفصل البروتين. لي وهيون يناقش كيف يمكن تحسين تأثيرات تباين MR من خلال التحكم في الحجم والتركيب والمنشطات والتجميع وخصائص السطح للجسيمات النانوية القائمة على أكسيد الحديد. استخدام الجسيمات النانوية المغناطيسية لمعالجة البروتينات

والخلايا ، وقد أدت الخصائص الإلكترونية الضوئية الفريدة المعتمدة على الحجم والشكل لجسيمات الذهب النانوية إلى تطبيقها في الطب.[180]




**الشكل (1.3) يوضح استخدامات النانو في الطب**

## 1.1.3 تقنية النانو في التشخيص الطبي

## Nanotechnology in Medical Diagnostics

تمت دراسة الجسيمات النانوية غير العضوية على نطاق واسع واستخدامها في تطبيقات التصوير في المقام الأول نظرًا لخصائصها البصرية أو المغناطيسية أو الكهربائية الفريدة على المستوى النانوي. إن الخطوات المسجلة في مجال التشخيص النانوي تعطي أملاً متزايدًا لمزيد من الاحتمالات. مثل هذه الاحتمالات التي ترجع إلى الجسيمات ذات الحجم الصغير للغاية، والحساسية العالية لمنصات التشخيص النانوي، والاكتشاف المبكر

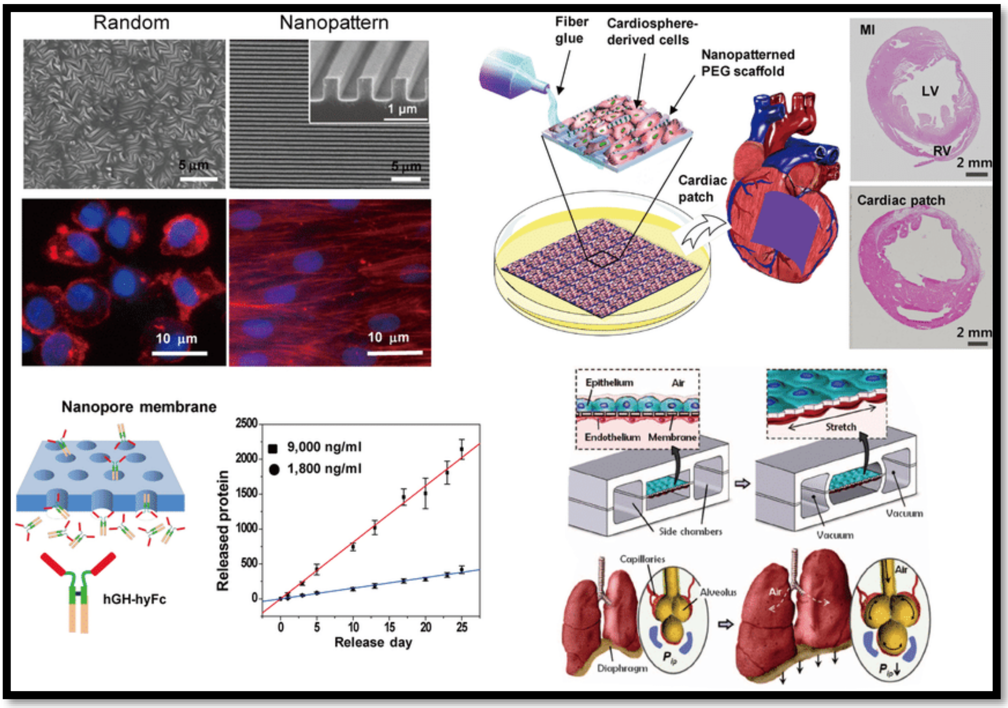
للأمراض والتوجهات الجينية على المستوى الجزيئي باستخدام اختبارات سريعة بسيطة غير مكلفة، وطرق تصوير دقيقة، أدت إلى تطوير أجهزة يمكن أن تكون تستخدم للتشخيص الجزيئي الدقيق في نقطة الرعاية .(POC) في الوقت الحاضر، تستخدم تقنيات التشخيص المتاحة مبدأ الكشف عن المؤشرات الحيوية للأمراض المختلفة. تعتبر الأجهزة المحمولة باليد رائجة، وهي محمولة وسهلة الاستخدام، على سبيل المثال Gluco-watch التي يمكن استخدامها كساعة معصم بها مستشعرات حيوية ذات رقاقة نانوية تساعد في مراقبة نسبة الجلوكوز في الدم. مع سهولة استخدام هذه الأجهزة من قبل بعض المرضى، يتم تقليل زيارات المستشفى، ويتم تخفيف ضغط الأطباء، ويكونون تحت ضغط أقل للتركيز مع ما يترتب على ذلك من ممارسات محسنة. أصبحت الممارسة الطبية أسهل مع التشخيص النانوي. على عكس الآن حيث يتعين على الأطباء طلب الاختبارات الطبية للتأكد من تخميناتهم المتعلمة حول مرض محتمل، يمكنهم بشكل استباقي منع عروض المرض المحتملة باستخدام التمايز القائم على التشخيص النانوي للأمراض باستخدام تحليل تسلسل الحمض النووي تكشف تقنيات الانهيار الجليدي في تقنية النانو كيف يمكن الحصول على المعلومات البيولوجية بسهولة وسرعة وبتكلفة زهيدة، ثم تحليلها، وبالتالي زيادة إمكانيات تحقيق الطب الوقائي بشكل كبير. مع هذا التحرك في التشخيص الطبي، أصبح العلاج أكثر تحديدًا وفردية مع نتائج إيجابية. في الواقع، يتم دمج العلاج والتشخيص بشكل سريع في مجال طبي متخصص جديد يسمى العلاج الطبيعي. لأن طرق تقنية النانو والأدوية تخدم الأغراض التشخيصية والعلاجية بشكل متزامن. ومن الأمثلة على ذلك وسيط التباين، المصنوع من الجسيمات النانوية، والذي يجلب معه المادة الفعالة مباشرة في حالة حدوث تغير مرضي في الأنسجة والأنظمة الحاملة التي تنتشر بشكل وقائي في الكائن الحي وتتفاعل مع الإشارات الذاتية وتفرز تلقائيًا المواد الفعالة إذا لزم الأمر. يتم أيضًا البحث في إنتاج المواد النانوية التي تتعرف على الخلايا ومكونات الخلية، بما في ذلك الجينات الفردية، ذات الوظائف الضعيفة وإصلاحها من تلقاء نفسها في الكائن الحي. يمكن استخدام النقل المستهدف للمواد الفعالة لإدخال الأحماض النووية وشظايا الحمض النووي والجينات الفردية في الأنسجة والخلايا عن طريق الجسيمات النانوية. في دراسة حيوانية متطورة باستخدام الفئران القابلة للتحلل البيولوجي، ثبت أن الجسيمات النانوية البوليمرية لتوصيل الجينات تقتل بشكل فعال خلايا الورم الدبقي في الدماغ وتطيل من بقاء الحيوانات. يتيح هذا الاكتشاف مزيدًا من التشخيص المبكر للحالات الطبية ذات الاستعداد الوراثي .[181]

### 2.1.3 تقنية النانو في توصيل الدواء Nanotechnology in drug delivery

بالتوازي مع تطوير أنظمة توصيل الجسيمات النانوية، حقق مجال توصيل الأدوية المعتمد على الجهاز الميكانيكي / النانوي (MEM / NEM) أيضًا تقدمًا كبيرًا على مدار العقد الماضي. على وجه الخصوص، تم تطوير رقاقات ميكروية قابلة للزرع تحتوي على خزانات نانوية لتوصيل الأدوية لفترات طويلة بطريقة مضبوطة بدقة؛ يتم اختبار الإبر الدقيقة في توصيل الأدوية غير المؤلمة عبر الجلد؛ وإدماج الميزات النانوية (مثل المسام النانوية والقنوات النانوية والجسيمات النانوية) في الأنظمة المصنّعة الدقيقة تعمل على إتقان تقنيات توصيل الأدوية والعزل المناعي. تُبذل جهود كبيرة أيضًا في إنشاء أجهزة ذكية يمكن أن تستشعر كمية الجرعة المطلوبة ثم إطلاقها تلقائيًا من الخزانات. مراقبة الظروف الفيزيائية والكيميائية الحيوية، في الموقع. قد يوفر التطوير الأخير لأجهزة الاستشعار القائمة على التكنولوجيا النانوية (مثل الأسلاك النانوية والأنابيب النانوية) طرقًا جديدة لمعالجة هذا القلق، وقد يسهل حتى تصغير الجهاز. بالإضافة إلى توصيل الأدوية، أظهرت الأجهزة الدقيقة والمتناهية الصغر إمكانية تطوير ناقلات نانوية بخصائص فيزيائية كيميائية (مثل الحجم والشكل وكيمياء السطح). باستخدام قوالب احتكارية الفلورو المشبعة، المُصنَّعة بالطرق التقليدية من أعلى إلى أسفل، يمكن تكرار الجسيمات البوليمرية على نطاق الميكرون بأشكال متغيرة وكيمياء السطح التي يمكن التحكم فيها. الجسيمات النانوية PLGA-PEG المتجانسة. ومع ذلك، لا يزال الطلب كبيرًا على التقنيات الدقيقة والنانوية، والتي يمكن استخدامها عالميًا للتحكم في الخواص الفيزيائية الحيوية الكيميائية للأنظمة النانوية المختلفة. بالإضافة إلى الفرص والتحديات المذكورة أعلاه ، فإن ما يلي ضروري أيضًا لتطوير أنظمة توصيل الأدوية من الجيل التالي: (1) التوصيف الفيزيائي والكيميائي المفصل للأنظمة النانوية (الأمر الذي يتطلب تقنيات متطورة وحديثة) ؛ (2) تقييد الامتصاص غير المرغوب فيه من قبل الأعضاء غير المستهدفة (مثل الكبد والطحال) ؛ (3) تحسين أنظمة إطلاق العقاقير المنشطة أو القابلة للبرمجة (مثل الأس الهيدروجيني ودرجة الحرارة والضوء والإنزيم والموجات فوق الصوتية والمجال المغناطيسي والتيار الكهربائي) ؛ (4) تعزيز الوسائل التي يمكننا من خلالها فهم المبادئ البيولوجية للمرض وبيئته الميكروية ، والحواجز البيولوجية التي تعيق توصيل الأدوية ، ومسارات التهريب الداخلي ؛ و (5) تحديد العلامات البيولوجية التي تعزى إلى الخلايا المريضة. مع التقدم المستمر في هذه المجالات، يمكننا أن نتوقع أن مجال توصيل الأدوية سيستفيد بشكل كبير من ظهور المواد والأجهزة النانوية المصممة بدقة.

### 3.1.3 هندسة الانسجة Tissue Engineering

هندسة الأنسجة هي مجال متطور متعدد التخصصات يدمج البيولوجيا والهندسة وعلوم المواد والطب، ويركز على تطوير البدائل البيولوجية لاستعادة وظيفة الأنسجة والأعضاء أو استبدالها أو صيانتها أو تعزيزها. على مدى العقود القليلة الماضية، استمر التقدم في هذا أدى مجال معين إلى إنشاء أنسجة قابلة للزرع، وبعضها مستخدم بالفعل في البشر (مثل الجلد والغضاريف) أو دخل في تجارب إكلينيكية (مثل المثانة والأوعية الدموية). ومع ذلك، تعتمد معظم استراتيجيات هندسة الأنسجة على مبدأ في ظل ظروف مفاعل حيوي مناسب، يمكن للخلايا المصنفة أو المعينة في سقالات متوافقة حيوياً ثلاثية الأبعاد (3D) إعادة التجميع في هياكل وظيفية تشبه الأنسجة الأصلية. تم تصميم السقالات الاصطناعية المبكرة لتوفير السلامة الهيكلية للخلايا على المستوى العياني، ولكنها حققت نجاحًا معتدلًا فقط. من المقبول الآن على نطاق واسع أنه لإعادة تلخيص وظائف الأنسجة المناسبة، يجب أن تنشئ السقالات أيضًا بيئة ميكروية خاصة بالأنسجة للحفاظ على وتنظيم سلوك الخلية ووظيفتها. داخل الأنسجة، تُحاط الخلايا بمصفوفة خارج الخلية (ECM) تتميز بشبكة طبيعية من الألياف النانوية المنظمة بشكل هرمي. علاوة على ذلك، تلعب ECM دورًا حيويًا في تخزين مجموعة واسعة من العوامل البيولوجية وإطلاقها وتفعيلها، جنبًا إلى جنب مع مساعدة تفاعلات الخلايا الخلوية والعوامل القابلة للذوبان في الخلية. وبالتالي، فإن القدرة على هندسة المواد الحيوية التي تحاكي عن كثب تعقيد ووظيفة ECM هو أمر محوري لتجديد الأنسجة بنجاح. ومع ذلك، فإن التطورات الحديثة في تكنولوجيا النانو قد مكنت من تصميم وتصنيع البيئة الدقيقة المحاكية الحيوية على المقياس النانوي، مما يوفر نظيرًا لـ ECM الأصلي. إطلاق الأدوية (مثل عوامل النمو). في المقابل ، توفر هذه الأجهزة النانوية وسيلة لتوجيه السلوكيات الخلوية التي تتراوح من التصاق الخلية إلى التعبير الجيني.[182]




**الشكل (2.3) هندسة الأنسجة المدفوعة بتقنية النانو، (أ) التحكم في الاستقطاب الخلوي على نمط التصوير النانوي. مستنسخة بإذن من الجمعية الملكية للكيمياء. (ب) رقعة الخلايا القلبية للشفاء من احتشاء عضلة القلب. (ج) الإطلاق المتحكم فيه للبروتينات العلاجية باستخدام غشاء بوليمر نانوي. (د) موائع جزيئية الرئة على رقاقة لتقليد أنسجة الرئة وميكانيكياها**

### 4.1.3 تقنية النانو في تشخيص الامراض السرطانية

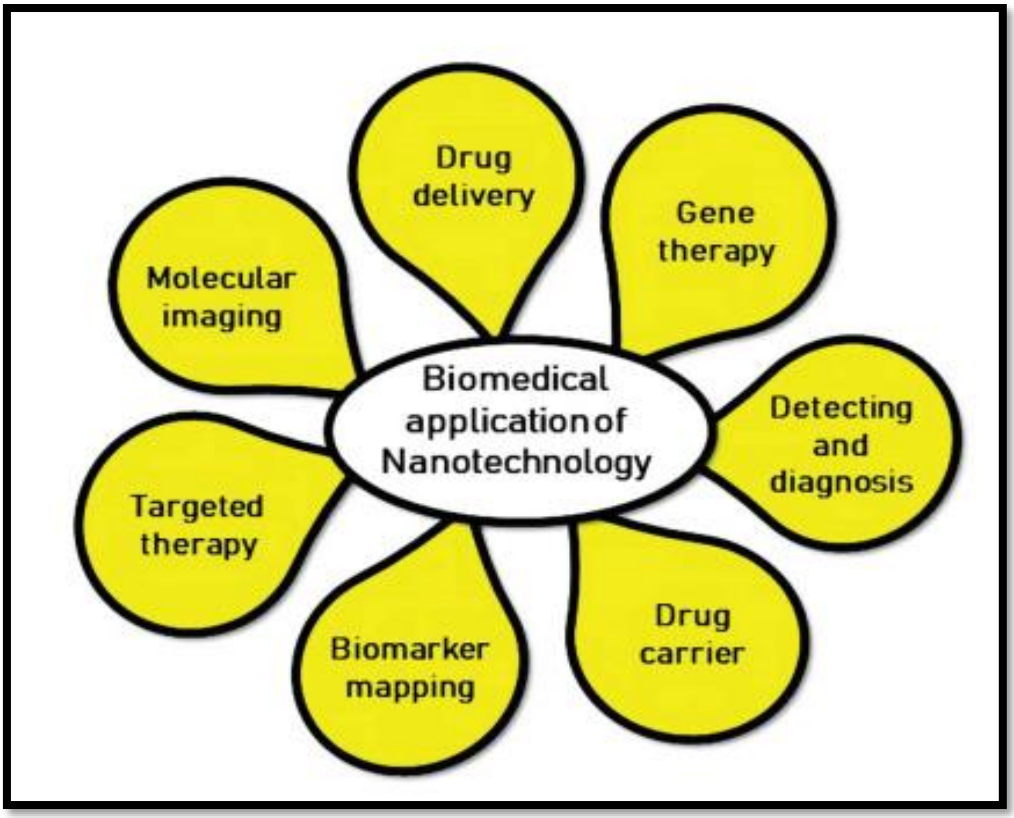
### Nanotechnology in the diagnosis of cancer

السرطان هو السبب الرئيسي الثاني للوفاة البشرية في جميع أنحاء العالم حيث من المتوقع وفاة 7.6 مليون شخص كل عام وهو ما يمثل 13 ٪ من إجمالي الوفيات. سيكون الوضع الحالي لانتشار السرطان أسوأ في المستقبل القريب ومن المتوقع أن تزداد الوفيات المرتبطة بالسرطان 13.1 مليون حتى عام 2030. يتميز السرطان بتكاثر الخلايا غير المنضبط وغياب موت الخلايا الذي ينتج عنه في النهاية كتلة غير عادية من الخلايا، أي الورم باستثناء سرطان الدم. الورم الخبيث هو مصطلح غير محدد يغلف مجموعة من الأمراض الموصوفة بانقسام الخلايا غير المنضبط. لذا أصرَّت حالة السرطان الشبيهة بالوحش الحالي على الباحثين على تطوير تقنيات مختلفة للتشخيص الدقيق وعلاج السرطان، وعلم النانو هو أحد أساليب العلاج الناشئة التي تمتلك القدرة على مكافحة السرطان. علم النانو، قسم فرعي من

طب النانو، يتضمن استخدام تقنية النانو في إدارة وعلاج السرطان. أدى التقدم في تكنولوجيا النانو إلى توسيع نطاق تطبيقها في مجالات مختلفة من العلوم الطبية الحيوية كما هو موضح في الشكل (3.3). تسمح تقنية النانو بالتشخيص الجزيئي للسرطان باستخدام مواد ذات مقياس نانوي، مثل جزيئات الذهب النانوية، ونقاط الكم وغيرها من المواد النانوية التي توفر أدلة تشخيصية واضحة للسرطان. ساعد التشخيص الجزيئي بتقنية النانو في تحسين تشخيص المرقم الحيوي للسرطان، على سبيل المثال، جهاز استشعار النانو حساس للغاية لاكتشاف المؤشرات الحيوية المتعددة للبروتين في بضع ثوانٍ. في علاج السرطان، تتوسط الجسيمات النانوية في توصيل الأدوية الخاضعة للرقابة. تُستخدم هذه المواد النانوية كوسيلة يمكنها عبور العديد من الحواجز البيولوجية بسهولة. طب النانو هو فرع من فروع الطب يدمج التكنولوجيا الحيوية النانوية والمستحضرات الصيدلانية النانوية للتطبيقات الطبية. في الأساس، يتميز الطب النانوي بأنه تطبيق التكنولوجيا الحيوية النانوية في الطب الذي يعتمد بشكل أو بآخر على استخدام المواد والأجهزة النانوية في التشخيص وتسليم الأدوية لتحسين الأدوية المشار إليها باسم الأدوية النانوية. على مر السنين، مواد مختلفة نانوية تم استخدام نظام توصيل الأدوية القائم على أساس مثل micelles ، و liposomes ، و dendrimers ، و nanoemulsion ، وما إلى ذلك لتوصيل الأدوية المضادة للسرطان. يتم تسليم المواد النانوية بشكل تدريجي لاستهداف الخلايا السرطانية بسبب خصوصيتها الاستثنائية من خلال الاستهداف النشط والسلبي. على الرغم من وجود عدد كبير من الأدوية التي يمكن استخدامها في علاج السرطان، إلا أن المشكلة تكمن في القتل الانتقائي للخلايا السرطانية مع تقليل السمية الجانبية للخلايا السليمة. يمكن للجسيمات النانوية المكدسة بالعقاقير أن تتخلص من هذه الحدود البيولوجية وتعزز كفاءتها مع تقليل معدلات الإصابة بالأمراض. يعني الطب النانوي تعزيز التوزيع الحيوي وتجميع الموقع الموضوعي للعوامل العلاجية المدارة بشكل أساسي (العلاج الكيميائي). تم تقييم مجموعة واسعة من الأدوية النانوية على مر السنين، بما في ذلك الجسيمات الشحمية والبوليمرات والجزيئات والأجسام المضادة، وقد تم الحصول على الكثير من الأدلة التي تثبت أن هذه المواد النانوية الحاملة ذات المقاييس الدقيقة قادرة على تعزيز التوازن بين فعالية وسمية العلاج. التدخلات. إلى جانب الأغراض العلاجية، تم استخدام تركيبات طب النانو بشكل متزايد لتطبيقات التصوير في السنوات الأخيرة. طرق مختلفة لطب النانو تشمل الجسيمات النانوية البوليمرية / غير البوليمرية، المتشعبات، البقع الكمومية، الأنابيب النانوية الكربونية، الجسيمات النانوية القائمة على الدهون. بالإضافة إلى ذلك، فإن قدرة الطب النانوي على نقل حمولة ضخمة واستهداف الروابط متعددة التكافؤ تلعب دورًا محوريًا في علاج السرطان. هذا يمنح خصوصية لاستهداف الأنسجة وكذلك أنظمة الحماية الجانبية. تتمثل العقبات الكبيرة التي تواجه هذه الأدوية المستقبلية في السمية

المحتملة للجسيمات النانوية، مما يفرض الحاجة إلى إجراء تقييم واسع النطاق قبل استخدام الأدوية النانوية كعلاجات للسرطان (الأورام الخبيثة). يعتمد تسليم الطب المترافق بالمواد النانوية في موقع الورم المستهدف على تطوير نظام نانوي متوافق حيوياً، على سبيل المثال، البلورات النانوية، والجسيمات النانوية الدهنية القوية، وحامل الدهون ذات البنية النانوية، وتقارن الأدوية الدهنية، والليبوسومات النانوية، والتشعبات، والأغشية النانوية، والمستحلبات، والأنابيب النانوية، والنقاط الكمومية، إلخ. التسليم كذلك. يعتمد الاستهداف السلبي على التأثير المعزز للنفاذية والصيانة (EPR) للأوعية الدموية التي تشمل الأورام. يستخدم الاستهداف النشط ارتباطًا منسقًا بواسطة الترابط للجسيمات النانوية بالمستقبلات الموجودة على الخلايا السرطانية لتوصيل الدواء. قد يتم تنظيم إطلاق العقاقير المحملة من الجسيمات النانوية استجابة للتغيرات الفسيولوجية مثل درجة الحرارة ودرجة الحموضة. العديد من خواص المواد النانوية مثل حجمها، شحنة السطح، PEGylation (الربط) وغيرها من الخصائص الفيزيائية الحيوية هي المسؤولة عن تنوع ملامح التوزيع الحيوي والفعالية المضادة للسرطان للأدوية النانوية في الجسم الحي. ركزت بعض المجموعات البحثية على تطوير جسيمات نانوية متوافقة حيوياً للكشف عن السرطان وعلاجه، وهي قادرة على استهداف علامات محددة للسرطان وتقديم عوامل التصوير والعلاج. في البحث الحالي، تم تطوير مجمعات دوائية أكثر تقدمًا للجسيمات النانوية يمكنها تفريغ العديد من الأدوية النانوية لتعزيز كفاءة العلاج. يعمل الاستهداف النشط للجسيمات النانوية من خلال اقتران مستقبلات سطح الخلية الخاصة بالورم على تحسين جدوى آلات توصيل الأدوية النانوية مع تقليل السمية بشكل أساسي. أحد أكثر التطورات إثارة في الطب النانوي هو أنظمة الجسيمات النانوية متعددة الوظائف للتصوير المتزامن لكتلة الورم وإيصال الدواء تعمل المواد النانوية كوسيلة لتوصيل الأدوية المقترنة وبالتالي تسمى بالجسيمات النانوية. في سياق علاج السرطان، يستهدف نظام توصيل الأدوية المعتمد على الجزيئات النانوية بشكل انتقائي الخلايا السرطانية والبيئة الدقيقة الداعمة للخلايا السرطانية. تحتوي الجزيئات الدقيقة على حمولة من تركيبات الأدوية العلاجية للاستهداف الانتقائي والقضاء على الخلايا السرطانية، وإيصال الأدوية الانتقائي للخلايا السرطانية، والسرطان الخلايا الجذعية / البادئة للورم و / أو البيئة المكروية الداعمة للخلايا السرطانية. فيما يتعلق بتصوير الخلايا السرطانية، فإن إحدى المواد النانوية الشائعة الاستخدام هي النقاط الكمومية التي تحتوي على خصائص كيميائية ضوئية وفيزيائية ضوئية فريدة لأنها أكثر إشراقًا من مركبات الفلوروفور التقليدية، كما أن أطياف انبعاثها ضيقة جدًا ويمكن ضبطها عن طريق ضبط حجم النقاط. النقاط الكمومية هي فئة جديدة من ملصقات الفلورسنت ذات السطوع المحسّن والمقاومة ضد التبييض الضوئي. يمكن لهذه الخصائص تحسين حساسية الكشف البيولوجي

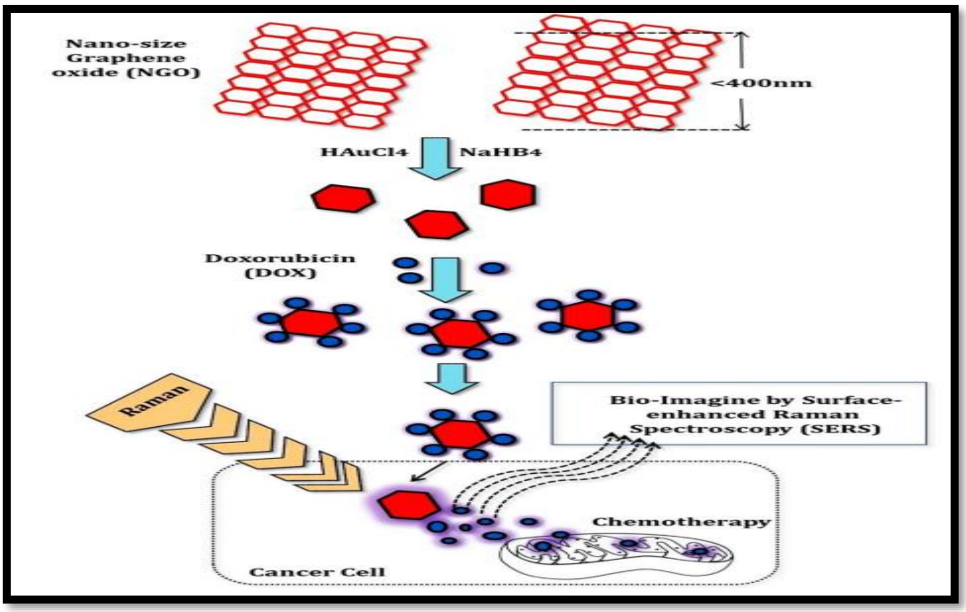
والتصوير بما لا يقل عن 10 إلى 100 ضعف. المواد النانوية الأخرى، على سبيل المثال، الأنابيب النانوية الكربونية (CNTs) والمتشعبات لها خصائص مثيرة للاهتمام يمكن استغلالها لأغراض التشخيص، والاستئصال الحراري، ونقل الأدوية في السرطان. الأنابيب النانوية الكربونية عبارة عن مواد أنبوبية ذات عرض بحجم نانومتر وتماثل محوري، مما يمنحها خصائص مثيرة للاهتمام يمكن استغلالها في تشخيص السرطان وعلاجه. وبالمثل، فإن الأنابيب النانوية الكربونية لديها القدرة على توصيل الأدوية مباشرة إلى الخلايا والأنسجة المستهدفة. إلى جانب التقدم السريع في تطوير المواد القائمة على تكنولوجيا النانو، من الضروري أيضًا توضيح سمية الجسيمات النانوية. بالإضافة إلى ذلك، يمكن إنشاء مذيلات بوليمرية بقدرات محسنة على تكديس الأدوية عن طريق موازنة الكارهة للماء وقابلية الماء في البوليمرات المشتركة لكتل تأطير الميثيل؛ يمكن أيضًا أن تكون مركزة بشكل فعال على السرطان من خلال تغيير السطح باستخدام روابط توجيه الورم. ومع ذلك، قد يظل الحفاظ على إطار التجميع الذاتي في الدوران والتفكيك لإطلاق الدواء في موقع العمل الدوائي يمثل تحديًا. دفعت التطورات الحديثة إلى التحسن في اختبارات الانجذاب الحيوي القائمة على الجسيمات النانوية للتصوير الذري والخلوي، والأدوية المقترنة بالجسيمات النانوية الموجهة لعلاج الورم والأجهزة النانوية المدمجة للفحص المبكر وتحديد المرض. تزيد هذه التطورات من تنشيط الأبواب المفتوحة لعلم الأورام المخصص حيث يتم استخدام المؤشرات الحيوية الوراثية والبروتينية لتحليل وعلاج السرطان، في ضوء الذرات الفرعية تزيد هذه التطورات من تنشيط الأبواب المفتوحة لعلم الأورام المخصص حيث يتم استخدام المؤشرات الحيوية الوراثية والبروتينية لتحليل وعلاج السرطان، في ضوء الملامح الذرية الفرعية للمرضى الفرديين. تلخص مقالة المراجعة الحالية تطبيق مختلف الأساليب القائمة على تقنيات النانو لتشخيص وعلاجات السرطان.




**الشكل (3.3) التطبيقات العلاجية لتقنية النانو في مجالات الطب الحيوي المختلفة**

سبب الإصابة بالسرطان هو حدوث طفرة في بعض الجينات المحددة داخل الخلايا. هذه الطفرة تغير تركيب بعض الجزيئات الحيوية المحددة مما يؤدي في النهاية إلى انقسام الخلايا غير المنضبط؛ نتيجة لذلك، تظهر كتلة من الخلايا المسرطنة في نسيج / عضو معين يسمى الورم. عندما يتم تقييد الخلايا السرطانية تسمى حميدة ولكن إذا أصبحت غازية للأنسجة المحيطة، تسمى خبيثة. تم تطوير معظم الاستراتيجيات التشخيصية والعلاجية ضد السرطان للتحقق من نمو الخلايا السرطانية وانقسامها. الأهم في علاج السرطان هو التشخيص المبكر والدقيق الذي يتم بشكل عام عن طريق التصوير المقطعي (CT) والتصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) والتصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (PET) والموجات فوق الصوتية وما إلى ذلك. إن استراتيجيات الفحص والتصوير الحديثة ليست متعددة الاستخدامات لتوفير معلومات سريرية كاملة حول أنواع ومراحل مختلفة من الورم، ونتيجة لذلك أصبح من الصعب جدًا نجاح العلاج ونتائج المريض. معظم العوامل الحالية المضادة للسرطان لا تفرق بين الخلايا السرطانية والعادية، مما يؤدي إلى سمية جهازية وتأثيرات

غير مرغوب فيها. علاوة على ذلك، هناك مشكلة رئيسية في السرطان تتمثل في تأخر التشخيص حتى ينتقل السرطان اكتسب استخدام الجسيمات النانوية في تشخيص السرطان ومراقبته الاهتمام واستخدمت أنواع مختلفة من الجسيمات النانوية للتصوير الجزيئي. المبدأ الأساسي للتصوير القائم على المواد النانوية هو حجم الجسيمات المسؤول عن الخصائص غير العادية للجسيمات النانوية. الجسيمات النانوية المستخدمة في السرطان ، على سبيل المثال ، أشباه الموصلات والنقاط الكمومية وبلورات أكسيد الحديد النانوية ، لها خصائص بصرية أو مغناطيسية أو هيكلية لا تحدث عادة في الجزيئات أو المواد الصلبة الكتلية. يمكن استخدام العوامل المضادة للأورام المختلفة بما في ذلك الأدوية والجزيئات الحيوية المختلفة مثل الببتيدات المختلفة والأجسام المضادة أو الجزيئات الأخرى مع الجسيمات النانوية لتمييز الورم بسمات عالية وخصوصية عالية، وهذا الاقتران مفيد في الكشف المبكر عن الخلايا السرطانية وفحصها، كما هو موضح في الشكل (4.3). تتميز الجسيمات النانوية ذات القطر الصغير بمساحة سطحية كبيرة يمكن أن تلتصق بسهولة بمجموعات وظيفية من عوامل تشخيصية وعلاجية بصرية أو مشعة أو مغناطيسية مختلفة مما يجعل تشخيص السرطان أكثر إقناعًا وكفاءة. أحدثت هذه التطورات في تكنولوجيا النانو تقدمًا ثوريًا في مجال تشخيص وعلاج السرطان[183]




**الشكل (4.3) آلية تخطيطية لـ SERS بوساطة التصوير الحيوي وتوصيل الأدوية المضادة للسرطان باستخدام AuNGO**

### 5.1.3 تقنية النانو في وظائف الأعضاء العصبية (الدماغ)

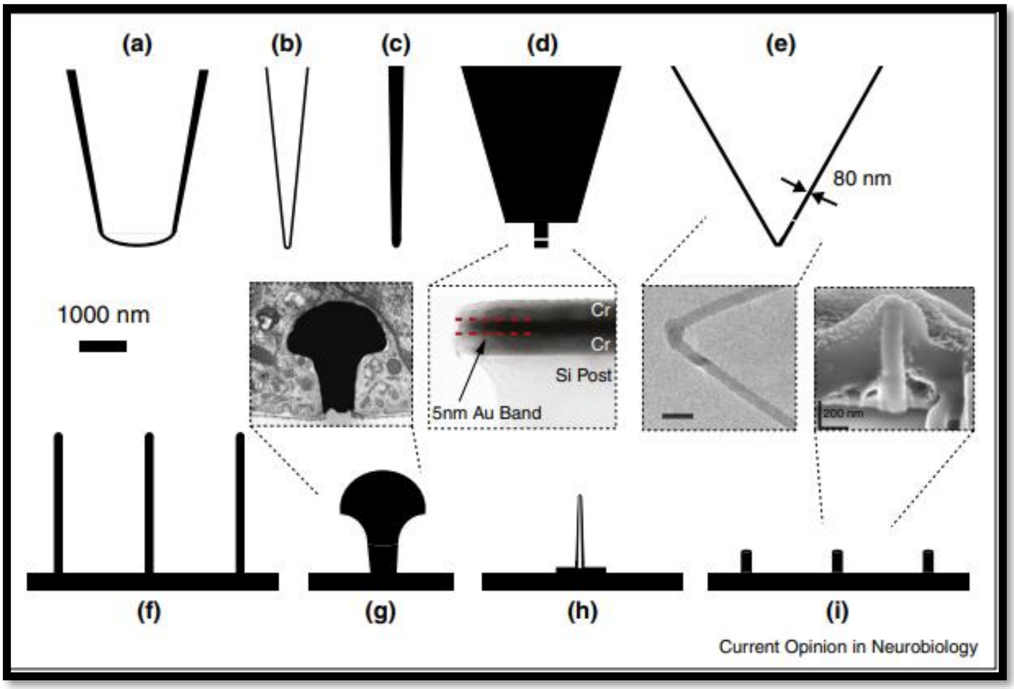
### Nanotechnology in the functions of nervous organs (the brain)

يعتبر الكثيرون أن الدماغ هو النظام البيولوجي الأكثر تعقيدًا في الوجود، لذلك ليس من المستغرب أن تدفع المتطلبات التقنية لأبحاث علم الأعصاب الابتكار في العديد من المجالات. شهد العقد الماضي انفجارًا في الأساليب البصرية الجديدة لتسجيل وتحفيز دوائر الدماغ، لا سيما في مجال علم البصريات الوراثي. وبنفس القدر من الأهمية، فإن الأدوات التجريبية والتحليلية الجديدة للفحص المجهري الإلكتروني تتيح الآن إعادة بناء حجمية عالية الدقة للأنسجة العصبية متبوعة بتحليل التوصيل الكمي. وبالنظر إلى التقدم المحرز في هذه المجالات، فمن المدهش أن التسجيل الكهربائي المباشر من الخلايا العصبية ـ تم النظر فيه منذ فترة طويلة مركزية في أبحاث علم الأعصاب ـ لم يتغير كثيرًا في العقود الثلاثة الماضية. لا يزال تسجيل رقعة الخلية الكاملة ، وتسجيل مسرى مكروي حاد ، والأقطاب خارج الخلية القائمة على السيليكون هي أحدث ما توصلت إليه التسجيلات العصبية على الرغم من قيودها المعروفة: يتسبب تسجيل رقعة الخلية في غسيل الكلى على مدى دقائق ، وتغير الأقطاب الدقيقة الحادة مقاومة المدخلات وإمكانات غشاء الراحة ، ولا يمكن للتسجيل خارج الخلية أن يقيس التغيرات تحت العتبة في إمكانات الغشاء العصبي الدافع لتطوير أدوات نانوية لعلم وظائف الأعضاء العصبية هو تسجيل النشاط الكهربائي داخل الخلايا من آلاف الخلايا العصبية في وقت واحد دون الإخلال بخصائصها الفسيولوجية. علاوة على ذلك، لجعل هذه الأدوات مؤثرة في علم الأعصاب، يجب أن تكون قوية وسهلة الاستخدام ويمكن إعادة إنتاج أدائها عبر المختبرات. أثبتت عدة مجموعات الآن أن الأجهزة النانوية ذات الحالة الصلبة يمكنها تسجيل النشاط الكهربائي في الخلايا العصبية وخلايا عضلة القلب، مما يشير إلى خطوة مهمة نحو التسجيل داخل الخلايا غير متوازٍ وغير ديالي. يتمثل التحدي المتبقي في إثبات إمكانية استخدام هذه الأجهزة على فترات زمنية ذات صلة بالتجارب الفيزيولوجية العصبية مع الحفاظ على الوظيفة الخلوية الأصلية. في الأقسام التالية سوف ندرس القدرات التقنية لإنتاج أجهزة نانوية، والخصائص الكهربائية الذاتية لهذه الأجهزة، وتفاعلها المحدد مع الخلايا. نستنتج أن التفاعل بين الخلية والإلكترود (قطب كهربائي) هو الجانب الأكثر أهمية في تصميم الجيل القادم من الأقطاب الكهربائية داخل الخلايا. سيكون العديد من علماء الأعصاب على دراية بالتطورات المثيرة في مجال الإلكترونيات الحيوية ، ويرجع الفضل في ذلك جزئيًا إلى العديد من المراجعات الحالية حول هذا الموضوع ، حيث تم استخدام الأجهزة النانوية التي تتضمن أسلاكًا نانوية وترانزستورات نانوية لتسجيل النشاط الكهربائي من الخلايا العصبية وخلايا عضلة القلب.

يعتمد هذا المجال على مجموعة واسعة من تقنيات التصنيع الحديثة، مما يعني أن بناء ومعالجة الأجهزة على مقاييس الطول دون الخلوية (<500 نانومتر) أصبح أمرًا روتينيًا الآن، مع بعض الأجهزة التي يتم نقشها على مقياس الطول الفردي. البروتينات. النقش باستخدام الطباعة الحجرية لشعاع الإلكترون بأحجام ميزة 10 نانومتر يكون مستقيمًا نسبيًا، إذا كان باهظ الثمن، في حين أن الأنماط عند 250 نانومتر وما فوق يمكن الوصول إليها بسهولة باستخدام الطباعة الحجرية الضوئية. وهناك العديد من التقنيات المتاحة لإنتاج أسلاك نانوية قطرها أقل من 100 نانومتر وحتى عشرات الميكرومترات بطول، إما عن طريق الزخرفة والحفر أو ترسيب البخار الكيميائي (CVD). يمكن التحكم في سماكة الأغشية الرقيقة إلى أقل من 1 نانومتر على ركائز مستوية، ومع ظهور ترسيب الطبقة الذرية (ALD) ، يمكن طلاء أكسيد وأغشية معدنية بشكل مطابق على هياكل معقدة وذات نسبة أبعاد عالية ببراعة مماثلة. يتم أيضًا صنع قشور نانوية بسماكة جدار تتراوح بين 5 و50 نانومتر وأقطار من عشرات إلى آلاف نانومتر بسهولة باستخدام ALD ويمكنها فصل جزء اختراق الغشاء لجهاز التسجيل عن جزء الاستشعار الكهربائي. طريقة سهلة أخرى للبنى النانوية الموصلة هي النمو الكهروكيميائي المقولب، والذي يمكن أن ينتج الأنابيب النانوية والقضبان النانوية، والأعمدة الدقيقة، بما في ذلك الهياكل النطاقات ذات التركيب غير المتجانس. كما تم تصنيع ترانزستورات تأثير المجال النانوي للتسجيلات الخلوية، بعضها بالاشتراك مع تصاميم نانوسترو. أخيرًا، تم استخدام تقنيات الأغشية الرقيقة والطبقات الأحادية المجمعة ذاتيًا لإنشاء عصابات كارهة للماء من 3 إلى 5 نانومتر على جوانب الهياكل النانوية غير العضوية، مما يسمح لها بالاندماج في بروتينات الغشاء ثنائية الطبقة الدهنية. باختصار، فإن صندوق أدوات النانو قادر على إنتاج أي تصميم تقريبًا إلى مستوى 10 نانومتر، مما يجعل السؤال المركزي ليس كيفية البناء، ولكن ما الذي يجب بناؤه. ان ميزة النانو الحجة الأكثر وضوحًا لاستخدام أجهزة التسجيل المصنّعة بالنانو هي الحجة ذات الحجم الكبير: يمكن للأقطاب الكهربائية الأصغر أن تسجل من بنى أصغر وتكون معبأة بكثافة أكبر للتسجيل من خلايا أكثر مع إزاحة أقل للحجم في الجسم الحي. وبالتالي، إذا كانت جميع الأشياء الأخرى متساوية، فإن الأجهزة الأصغر تكون أفضل لرسم خرائط النشاط المتوازي على نطاق واسع. ثانيًا، لوحظ على نطاق واسع أن الخلايا `` تلتف " تلقائيًا، أو تبتلع الهياكل النانوية البارزة، وهذا الاتصال الحميم بين الخلية والإلكترود يبسط إسناد مصدر الإشارة (قطب كهربائي واحد، وخلايا عصبية واحدة) ويحسن نسبة الإشارة إلى الضوضاء مقارنة بالتسجيل المستوي الأنظمة. مصفوفات مسرى النانو الموصوفة في الأدبيات الحديثة ليست مجرد مصفوفات أقطاب ميكروية أصغر، ولكنها تتفاعل مع الخلايا بطرق مختلفة نوعيًا. ميزة رئيسية أخرى لاستخدام جهاز تسجيل نانوي الحالة الصلبة هي

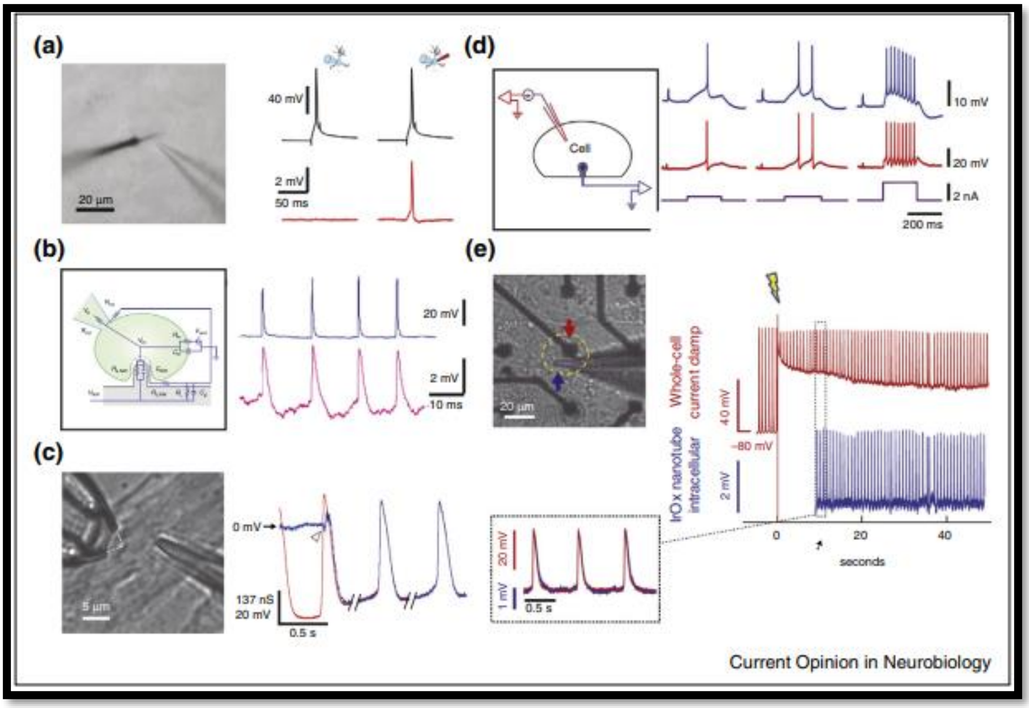
أنه يمكن استخدامه داخل الخلايا دون الإخلال بتكوين السيتوبلازم. يؤدي التخلص من موصل الإلكتروليت السائل المستخدم في الأساليب القائمة على الماصة المجهرية إلى حل فوري لمشكلة الانتشار بين الخلية ومحلول الماصة، والتي تمثل مشكلة خاصة لتسجيل الخلية الكاملة، ولكن أيضًا للأقطاب الكهربائية الدقيقة باستخدام المحاليل الداخلية عالية القوة الأيونية نظرًا لأن الموصلات المعدنية تتمتع بموصلية أعلى من 107 مرات مقارنة بمحاليل الإلكتروليت النموذجية، فهناك حجة محددة لتقليل مساحة المقطع العرضي للإلكترود عن طريق التحول إلى أجهزة الحالة الصلبة. تم إجراؤها نحو الأتمتة وتقنية تثبيت التصحيح في الجسم الحي، فإن المتطلبات الميكانيكية للتحكم في الضغط (أي صلابة الماصة) لا تتناسب مع التسجيلات المتوازية بشكل كبير. من ناحية أخرى، تم تصميم التصنيع النانوي للتوازي، مما ينتج بشكل روتيني هياكل معقدة بنفس مقاييس الطول مثل المكونات الخلوية (3-30 نانومتر) ، مما يعني أنه يمكن تصميم الأجهزة للتفاعل مع الخلايا على المستوى تحت الخلوي ، كما يسهل الاندماج في إلكترونيات القراءة بشكل كبير من خلال العمل مع المجسات الإلكترونية ذات الحالة الصلبة ، ويمكن ربط مصفوفات الهياكل النانوية بواسطة رقاقة فليب. طرق إلكترونيات CMOS عالية الكثافة للتسجيل والتحفيز. التسجيل الكهربائي من الأجهزة النانوية هناك عدة طرق متميزة للتسجيل الكهربائي بمقياس نانوي. لإظهار اتساع الأحجام والأشكال، تتم مقارنة الصور الظلية لبعض الأجهزة التمثيلية في الشكل (5.3) جنبًا إلى جنب مع ماصة التصحيح والإلكترود الدقيق الحاد. الأجهزة الموضحة في الصف السفلي من الشكل (6.3) متصلة بركيزة مسطحة وتتفاعل مع الخلايا المستنبتة التي إما نمت على ركائز أو يتم تسليمها إليها. الأجهزة الموضحة في الصف العلوي من الشكل 1 عبارة عن أجهزة مُدخلة، يتم توصيلها بواسطة معالج دقيق إلى الخلية، حيث يخترق جزء التسجيل غشاء البلازما لتحقيق الوصول إلى العصارة الخلوية. يقارن الشكل (7.3) العديد من التسجيلات الكهربائية باستخدام أجهزة نانوية حيث تم قياس إمكانات الغشاء بشكل مستقل إما بواسطة ماصة التصحيح أو مسرى دقيق حاد. لقد حفزت هذه النجاحات المبكرة قدرًا كبيرًا من الاهتمام لتوسيع تصميمات مسرى النانو إلى مصفوفات أجهزة متوازية على نطاق واسع في الجسم الحي من وجهة نظر التسجيل الكهربائي، فإن أهم تمييز بين أجهزة التسجيل النانوية هذه هو ما إذا كانت تخترق غشاء الخلية أم لا. يحدد هذا ما إذا كان القطب سيقيس مباشرة إمكانات الغشاء (الشكل 5 A) أو ما إذا كان سيقيس الإمكانات المحلية خارج الخلية (الشكل 5 B-D). إذا كان القطب النانوي مجاورًا للخلية فقط، فإنه يتصرف كما لو كان MEAتقليديًا (الشكل 5 B) ، يقيس شكل موجة محتمل للعمل خارج الخلية ولا توجد إشارة تقريبًا من تغييرات العتبة الفرعية في الإمكانات. عندما ينتج عن ابتلاع القطب النانوي ختم فضفاض بين الغشاء والقطب الكهربي ، يلاحظ أيضًا شكل موجة خارج الخلية الكنسي

(الشكل C 5) ، ولكن عندما يكون الختم محكمًا للغاية، قد يحاكي الجيب المغلف للحل عن كثب الإمكانات داخل الخلايا وستكون المكونات منخفضة التردد لإمكانات العمل مرئية (الشكل ثلاثي الأبعاد). في الواقع، قد تكون تفاعلات الإلكترود النانوي مع الخلية معقدة مع اختراق جهاز جزئيًا للغشاء وابتلاعه جزئيًا، ولكن من أجل الوضوح ولإدخال أهم الخصائص الكهربائية للتكوينات المختلفة، وصفنا هنا بشكل منفصل اثنين من التكوينات العامة للتسجيل: أقطاب اختراق الخلايا وأقطاب سيلنغولفيد.




**الشكل (5.3) حجم وشكل الأجهزة النانوية.**

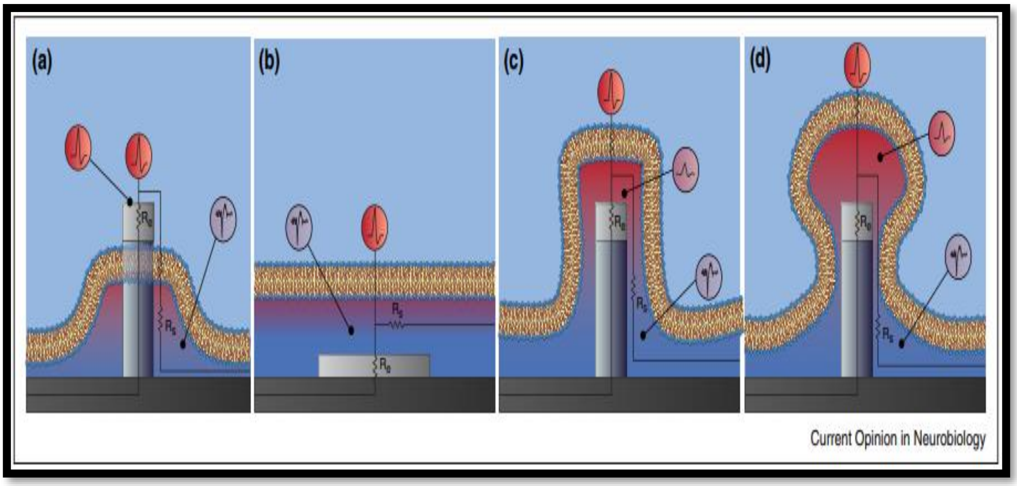
يتم عرض الأجهزة النانوية المختلفة لتوسيع نطاق المقارنة مع بعضها البعض ومع الأجهزة التقليدية طرق التسجيل داخل الخلايا. (a) ماصة التصحيح التقليدية؛ (b) مسرى دقيق حاد؛ (c) القطب النانوي (d) مسبار التخفي (e) الترانزستور النانوي (f) مصفوفة الإلكترود النانوي (g) القطب الصغري (h) الأنبوب النانوي - جهاز الترانزستور النانوي و (i) قطب الأنبوب النانوي




**الشكل (6.3) تسجيل الخلايا العصبية**

قدرات التسجيل الكهربائي للأجهزة النانوية. تم اختيار هذه التسجيلات على وجه الخصوص لأنها أجريت جنبًا إلى جنب مع تسجيلات التحكم المتزامنة إما بواسطة ماصات التصحيح أو أقطاب كهربائية دقيقة. (a) التسجيل داخل الخلايا من الخلايا العصبية الهرمية في شريحة الحُصين العضوية، باستخدام قطب كهربائي نانوي من التنغستن. هنا يتم تسجيل شكل موجة محتمل للعمل بواسطة مشبك التصحيح للخلية الكاملة (أسود) قبل وبعد اختراق مسرى النانو (يحدث خلال فترة 30 مللي ثانية بين الآثار)؛ (b) التسجيل من الخلايا العصبية المزروعة التي تنمو على مصفوفة مسرى نانوي من أسلاك السيليكون النانوية المطلية بالذهب. ينتج عن الحقن الحالي بواسطة ماصة التصحيح (الزرقاء) إمكانات العمل التي يمكن قياسها أيضًا على مسرى النانو (الوردي)؛ (c) التسجيل داخل الخلايا من خلية عضلية القلب باستخدام ترانزستور تأثير المجال النانوي (FET) هنا يغير الجهد الكهربائي عند طرف المسبار مباشرة ناقل FET (أزرق). يمكن تراكب شكل الموجة التحويلية هذا مع تسجيل رقعة الخلية الكاملة المتزامن (أحمر) ويكشف عن مدى دقة تتبع FET لإمكانات الغشاء. ويتضح أيضًا من تسجيل التحكم، عند إدخال FET في الغشاء، لوحظ تغيير في إمكانات غشاء الراحة؛ (d) تسجيلات الخلية، على الرغم من أن خارج الخلية (الأزرق) تتبع إمكانات الغشاء لعصب aplysia مع دقة ملحوظة، كما هو موضح من خلال تسجيل مسرى دقيق متزامن

حاد (جهد أحمر، تيار محقون أرجواني)؛ و (e) يمكن إجراء التسجيلات الكهربائية التي تدوم لعشرات الدقائق بشكل دوري على الخلايا العضلية القلبية المزروعة على مدى أيام باستخدام مصفوفات الأنابيب النانوية من أكسيد الإيريديوم. للحصول على وصول عابر داخل الخلايا، تم دفع قطب الأنبوب النانوي بجهد عالي لكهرباء الغشاء (t = 0). أدى ذلك إلى تغيير إمكانات غشاء الراحة كما هو موضح من خلال تسجيل التصحيح المتزامن (أحمر) ولكنه أدى أيضًا إلى خصائص تسجيل ممتازة من الأنبوب النانوي (الأزرق) كدليل من خلال تراكب التسجيلين (داخلي).




**الشكل (7.3) القطب الكهربائي وغشاء الخلية**

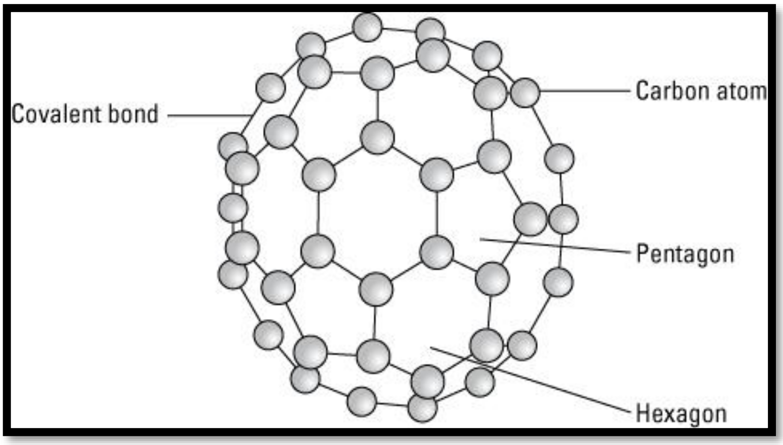
تكوين القطب الكهربائي والغشاء. (a) قطب كهربائي نموذجي مستو خارج الخلية. يكون التفاعل بين القطب الكهربائي والغشاء ضئيلًا بشكل عام، وتكون مقاومة الختم منخفضة، وبالتالي يسجل القطب الموجي التقليدي خارج الخلية؛ (b) الوصول المباشر داخل الخلايا؛ (c) التسجيل الغامض السائب. بشكل أساسي تسجيل خارج الخلية، ولكن قد تكون سعة السنبلة كبيرة مثل الميليفولت بسبب عزل الجيب المبتلع عن محلول الحمام؛ (d) التسجيل المغمور بإحكام. عندما تقترب مقاومة ختم الغشاء والإلكترود من مقاومة الغشاء للرقعة المبتلة، يمكن أن تكون إمكانات الجيب مشابهة جدًا للجهد داخل الخلايا، وبالتالي فإن الشكل الموجي المقاس يشبه إلى حد كبير التسجيل داخل الخلايا.[184]

## 2.3 تقنية النانو في الكيمياء Nanotechnology in chemistry

يجب أن يستعد الكيميائيين لإدراك أن الكيمياء تلعب بالفعل دورًا رائدًا في تقنية النانو. بمعنى ما، الكيمياء هي (وكانت دائمًا) تقنية النانو النهائية: يصنع الكيميائيون أشكالًا جديدة من المادة (وهم في الحقيقة العلماء الوحيدون الذين يفعلون ذلك بشكل روتيني) من خلال ضم الذرات ومجموعات الذرات معًا مع الروابط. إنهم ينفذون هذا النشاط على نطاق دون نانومتر - التخليق الكيميائي - على مقاييس ميغا طن عند الضرورة، ويقومون بذلك باقتصاد وسلامة ملحوظة. على الرغم من أن الاهتمام الأولي بتقنية النانو تركز في الغالب على الإلكترونيات النانوية، وعلى الرؤى الخيالية للمستقبليين، فإن أول التقنيات الجديدة والمحتملة التجارية التي ظهرت من علم النانو الثوري يبدو، في الواقع، في علم المواد؛ والمواد هي عادة نتاج العمليات الكيميائية. فيما يلي بعض الأمثلة.

### 1.2.3 أنابيب البوكي وكرات بوكي Bucky tubes and buckyballs

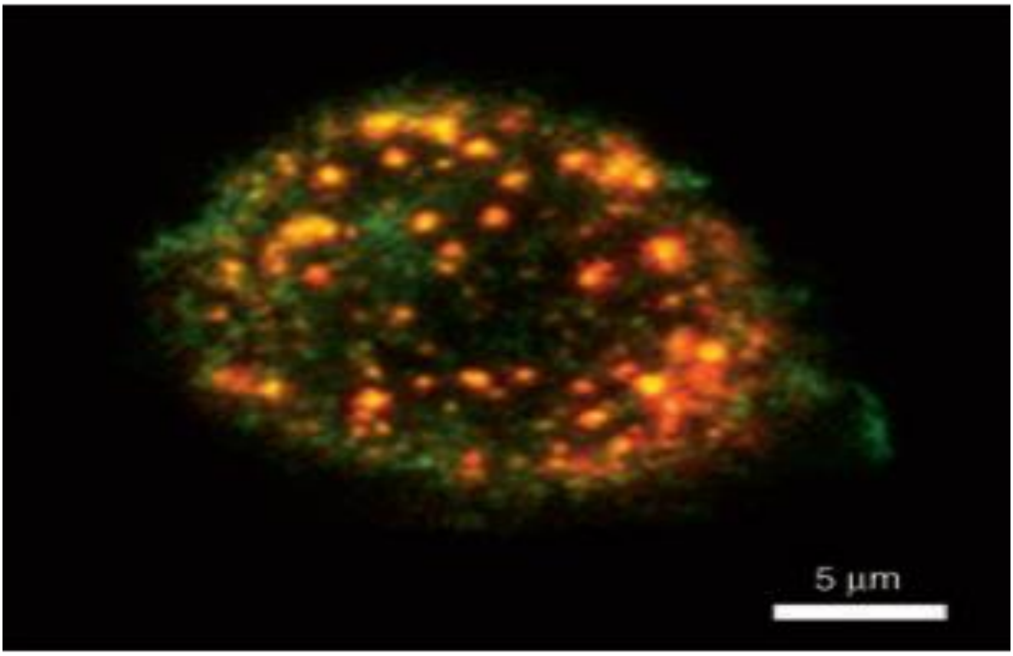
هي الأولى من الهياكل النانوية المنفصلة التي تشبه الجرافيت. لقد كانوا حتى الآن خيبة أمل من حيث الطلبات. ومع ذلك، فقد تبعتها بسرعة أنابيب دلو - تُعرف أيضًا باسم الأنابيب النانوية الكربونية - وهي قضبان طويلة من الجرافيت. تتمتع هذه الهياكل بمجموعة من الخصائص الرائعة، بما في ذلك التوصيل الكهربائي المعدني، وأشباه الموصلية مع قدرة عالية جدًا على الحركة الحاملة، وقوة ميكانيكية غير عادية. من بين هذه الاستخدامات - بشكل مدهش بالنسبة لمثل هذه المواد الغريبة - تطبيقات قيّمة ولكنها عادية نسبيًا مثل زيادة التوصيل الكهربائي للبوليمرات لتسهيل الطلاء بالرش الكهروستاتيكي وتبديد الكهرباء الساكنة. قد يشمل المستقبل شاشات البلازما والإلكترونيات المطبوعة. تتنافس Buckytubes بالطبع مع مواد غير مكلفة مثل الكربون الأسود والسيليكون لبعض هذه التطبيقات، وستحدد التكلفة والأمان الفائزين. تلعب الكيمياء والهندسة الكيميائية دورًا أساسيًا في تطوير الكيمياء التحفيزية والعملية المطلوبة لصنع أنابيب دلو موحدة بتكاليف مقبولة.




**الشكل (8.3) كرة البوكي**

## 2.2.3 النقاط الكمومية Quantum Dots

يمكن أن تكون النقاط الكمومية أشياء كثيرة، ولكن المنتجات الأولية التي تتضمن النقاط الكمومية هي حبيبات صغيرة (بضع نانومترات في الحجم) من مواد شبه موصلة (على سبيل المثال، سيلينيد الكادميوم). يتم تثبيت هذه الحبوب ضد التحلل المائي والتجمع بواسطة طلاء بطبقة من أكسيد الزنك وطبقة من المواد الخافضة للتوتر السطحي العضوية - وهي تقنيات مألوفة بالفعل في الصناعة الكيميائية في صناعة الدهانات ومساحيق الغسيل. هذه النقاط الكمومية لأشباه الموصلات الأولى هي فلورسنت - فهي تبعث ضوءًا ملونًا عند تعرضها للإثارة فوق البنفسجية - ويتم اختبارها في شاشات أجهزة الكمبيوتر والهواتف المحمولة، وكأحبار. هذه المواد مثيرة للاهتمام لعدة أسباب: أحدها أنها لا تتبيض ضوئيًا (أي تفقد لونها عند التعرض للضوء)؛ والثاني هو أن عملية تصنيع واحدة يمكن أن تجعلها في مجموعة من الأحجام، وبالتالي، في عملية واحدة، في جميع الألوان. توضح تطبيقاتهم في علم الأحياء الصعوبات في إدخال تقنية جديدة. تم استكشافها على أنها مجسات في بيولوجيا الخلية الشكل (9.3)، ولكن سميتها، والمنافسة من المسابير الجزيئية، جعلت هذه الاستكشافات الأولية ناجحة بشكل متواضع فقط. ومع ذلك، من الواضح أن الجسيمات الصغيرة غير السامة هي الصحيحة نوع من المواد لاستخدامها في توصيف الجزء الداخلي للخلية الحية



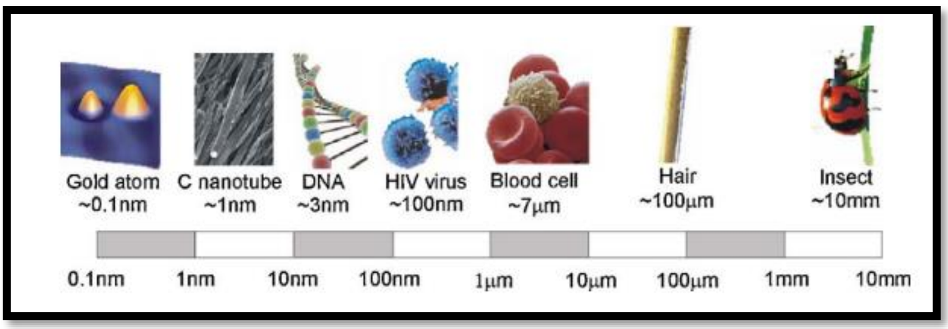

**الشكل (9.3) صورة لخلية ثديية مُعلَّمة بنقاط كمومية فلورية، مثبتة بالسطح السطحي ، وأشباه الموصلات. مقاومة هذه الهياكل النانوية للتبييض الضوئي تجعلها جذابة في التطبيقات التي تكون فيها حساسية الفلوروفور الجزيئي للضوء المثير عائقًا خطيرًا لاستخدامها.**

## 3.2.3 البوليمرات المنفصلة عن الطور Phase-Separated Polymers

استخدمت الصناعة الكيميائية البوليمرات المشتركة المنفصلة الطور والخليط لسنوات عديدة لتحسين خصائص المواد البوليمرية. بدأ علم النانو في إنتاج طرق جديدة لتوصيف هياكل المناطق المنفصلة على مراحل (والتي غالبًا ما تكون ذات أبعاد نانومترية)، وبالتالي توفير طرق هندسة هذه المناطق لأفلام نانومترية عالية التنظيم على الأسطح التي توفر التوافق الحيوي، والتحكم في التآكل، الاحتكاك، والترطيب، والالتصاق، وقد يوفر طرقًا لأجهزة مقياس نانومتر محتملة لاستخدامها في "الإلكترونيات الدقيقة العضوية". لقد غيروا أيضًا وجه علم السطح كمشروع بحثي ، ونقلوه من دراسة المعادن وأكاسيد المعادن في فراغ عالي إلى دراسة المواد العضوية في ظروف أقرب إلى العالم الحقيقي.[185]

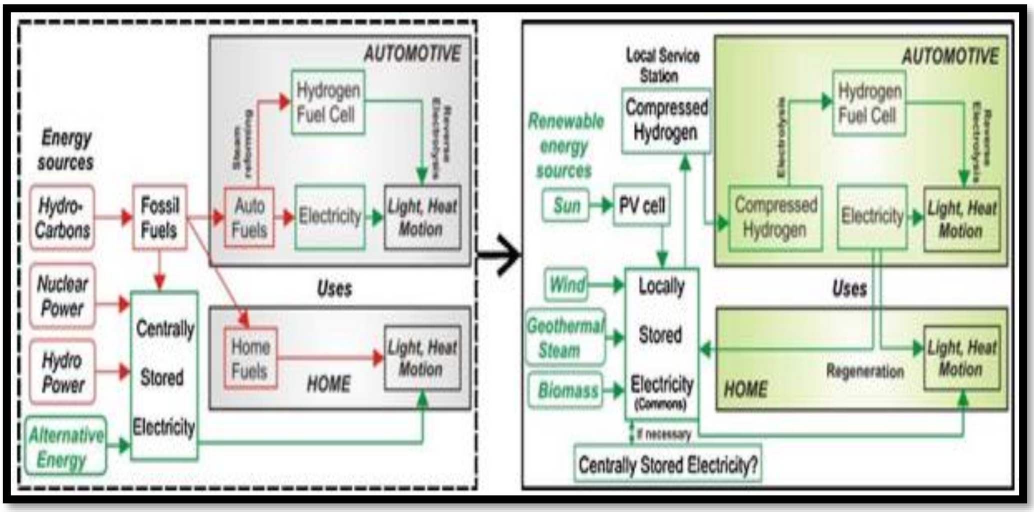
## 3.3 النانو تكنولوجي في الطاقة Nanotechnology in energy

في الوقت الحاضر، مصادر الطاقة الرئيسية لدينا للنشاط البشري هي الوقود الأحفوري والمعدني، والمصادر النووية والطاقة الكهرومائية. إنها ضارة جدًا بالبيئة لأنها تسبب تحذيرًا عالميًا، ونضوب طبقة الأوزون، وتدمير المحيط الحيوي والغلاف الأرضي، والدمار البيئي. وبالتالي، يمكن اعتبار إنتاج الطاقة الفعلي صناعة ضارة من حيث إنتاج التلوث والأثر البيئي منذ الثورة الصناعية في القرن الثامن عشر. حوالي 80٪ بالوزن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في العالم مصدرها قطاع الطاقة. على العكس من ذلك، فإن عمليات توليد الطاقة النظيفة مناسبة من مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الحرارية الأرضية وحرارة المحيطات والمد والجزر. ومع ذلك، لا تزال بدائل إنتاج الطاقة محدودة لأن الجمع بين تكلفتها العالية (تكلفة التصنيع مقابل الكفاءة) والآثار المترتبة على البيئة (تكلفة الحياة البرية، والنفايات الخطرة، ومياه التبريد، وما إلى ذلك) يجعل هذه العمليات غير مناسبة لها. على سبيل المثال، 7٪ فقط من الطاقة المستخدمة في الولايات المتحدة في 2005 تأتي من مصادر الطاقة المتجددة (بشكل رئيسي من الكتلة الحيوية والمصادر الكهرومائية) مقابل 8٪ من الطاقة النووية و85٪ من الوقود الأحفوري. يمكن العثور على بيانات مماثلة لألمانيا في عام 2006، حيث يغطي الوقود الأحفوري والطاقة النووية 56 ٪ و 27 ٪ ، على التوالي ، من الطاقة لإنتاج الكهرباء ، و 12 ٪ فقط يتوافق مع المصادر المتجددة ، حيث اكتسبت كل من الكتلة الحيوية وطاقة الرياح مكانة خاصة في العقد الماضي. تقدم تقنية النانو ، لأول مرة، أدوات لتطوير صناعات جديدة تعتمد على اقتصاديات فعالة من حيث التكلفة وفعالة من حيث التكلفة، مما يساهم بشكل جدي في النمو الاقتصادي المستدام. تقنية النانو هي مصطلح واسع يستخدم بشكل دقيق لوصف المواد والظواهر بمقياس النانو، أي بمقياس من 1 مليار إلى عدة عشرات من المليارات من المتر انظر الشكل (10.3).




**الشكل (10.3) مقياس الطول وبعض الأمثلة ذات الصلة.**

ومع ذلك، فإنه لا يعني فقط التصغير ولكن أيضًا المعالجة الدقيقة للذرات والجزيئات لتصميم خصائص المواد النانوية / الأنظمة النانوية والتحكم فيها. تختلف هذه الخصائص تمامًا عن تلك التي تمتلكها المواد السائبة، حيث تنتج أجهزة مصنوعة خصيصًا بقدرات غير موجودة في المواد السائبة أو في الطبيعة، أو حتى لتكرار بعض العمليات الطبيعية التي لم يتم تحقيقها حاليًا من خلال المواد الاصطناعية. مع التركيز على مجال الطاقة، فإن تقنية النانو لديها القدرة على الحد بشكل كبير من تأثير إنتاج الطاقة وتخزينها واستخدامها. حتى لو كنا لا نزال بعيدين عن نظام طاقة مستدام حقًا، فإن المجتمع العلمي يبحث في مزيد من التطوير لتقنيات الطاقة النانوية يظهر التطور النوعي لحالة الطاقة لتطبيقات المنزل والسيارات بحلول القرن الحادي والعشرين في الشكل (11.3) .

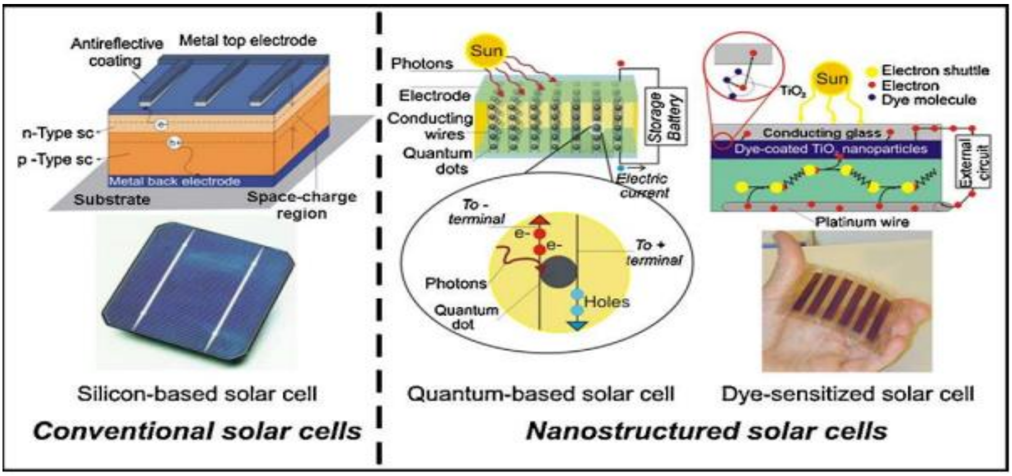



**الشكل (11.3) تطور حالة الطاقة لتطبيقات المنزل والسيارات بحلول القرن الحادي والعشرين (الجزء الأيمن) مقارنة بالحالة الحالية (الجزء الأيسر).**

وفقًا لتقرير خارطة الطريق بشأن استخدام المواد النانوية في قطاع الطاقة " من البرنامج الإطاري السادس، ستركز مجالات التطبيق الواعدة لمجال تحويل الطاقة بشكل أساسي على الطاقة الشمسية (معظمها التكنولوجيا الكهروضوئية للإمداد المحلي) ، تحويل الهيدروجين والأجهزة الكهروحرارية. تقدم هذه المراجعة لمحة عامة عن مساهمة تكنولوجيا النانو في اقتصاديات الطاقة الشمسية والهيدروجين والطرق المستدامة لتخزين الطاقة كخطوة للأمام لاستخدام أكثر استدامة للطاقة.[186]

## 1.3.3 الطاقة الشمسية Solar energy

يتناول هذا القسم استخدام تقنية النانو في جميع العمليات المتعلقة بالطاقة والتي تتضمن استخدام الإشعاع الشمسي كمصدر للطاقة. الطاقة الشمسية مجانية ومتوفرة إلى حد ما في أجزاء كثيرة حول العالم. في عام واحد فقط، يمكن للشمس أن تزود الأرض بـ 15000 مرة طاقة أكثر من الطاقة الذرية والوقود اللازمة فعليًا خلال العام. يمكن استخدام مصدر الطاقة هذا بطرق مختلفة: تقنية الخلايا الكهروضوئية - التي تحول الضوء مباشرة إلى تيار كهربائي ، وأنظمة حرارية شمسية - تستخدم في مجمعات الطاقة الشمسية ، والبناء الضوئي الاصطناعي - التي تنتج إما الكربوهيدرات أو الهيدروجين عن طريق تقسيم الماء ، تسمى تقنيات (الطاقة الشمسية السلبية) ، حيث يزيد تصميم المباني من الإضاءة والتدفئة الشمسية ، وحتى تكنولوجيا الكتلة الحيوية - حيث تستخدم النباتات الإشعاع الشمسي لتحريك التحولات الكيميائية وإنشاء الكربوهيدرات المعقدة ، والتي تُستخدم لإنتاج الكهرباء أو البخار أو الوقود الحيوي. يتم تضمين كل هذه العمليات المتعلقة بالطاقة وتطبيقاتها في ما يسمى بالاقتصاد الشمسي انظر الشكل (12.3).




**الشكل (12.3) تطور التكنولوجيا الكهروضوئية: من الخلايا الشمسية التقليدية (الخلايا الشمسية القائمة على السيليكون) إلى الخلايا الشمسية ذات البنية النانوية (الخلايا الشمسية القائمة على الكم والصبغ). مقتبس من الحكام.**[187]

تعتمد تقنيات الكتلة الحيوية في الغالب على إنتاج الوقود الحيوي من المواد الأولية الزراعية والغابات المزروعة على وجه التحديد أو النفايات العضوية. يمكن استخدام أنواع الوقود الحيوي هذه في خلايا الوقود للحصول على الكهرباء. بشكل عام، يمكن وصفه بأنه إنتاج الطاقة من النباتات. تمتلك الكتلة الحيوية حاليًا حصة كبيرة (9-13٪ بالوزن) من الطاقة

الأولية في العالم، والتي ربما تمثل حوالي 12600 تيراواط ساعة سنويًا. بالمقارنة مع الطاقة الشمسية الكهروضوئية، تشترك الكتلة الحيوية في كثافة طاقة منخفضة وكفاءة تحويل منخفضة نسبيًا، ولكن على النقيض من ذلك، تتمتع الكتلة الحيوية بميزة القدرة على تخزين الطاقة الشمسية للاستخدام عند الطلب. يركز البحث الحالي على تطوير مواد ضوئية جديدة يمكن استخدامها لتحويل ضوء الشمس مباشرة (أو الضوء الاصطناعي) إلى كهرباء. أيضًا، تجد الأنظمة الحرارية الشمسية تطبيقات مثيرة للاهتمام في أجهزة التنظيف الذاتي، مثل استخدام الحرارة من الإشعاع الشمسي وتخزينها في مخزن حراري جاهز للاستخدام في تطبيقات التدفئة والمياه الساخنة. لن تكون هذه التقنية هي التي تخفض تكلفة توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية إلى أقل من 1 دولار / (كيلوواط ساعة). في المقابل، كمثال على مستقبلها الجذاب كخلايا شمسية أكثر كفاءة، تتمتع النقاط الكمومية المتناهية الصغر بكفاءة تقترب من 40٪. البديل الآخر الذي تقدمه تقنية النانو للخلايا الشمسية التقليدية القائمة على السيليكون هو استخدام الخلايا الشمسية الصبغية. قدم O’Regan and Gra¨tzel في عام 1991 أول خلية شمسية ذات بنية نانوية [188] وهي خلية Gra¨tzel أو خلية شمسية حساسة للصبغة ، استنادًا إلى أفلام ثاني أكسيد التيتانيوم الغروية الصبغية. كانت هذه الأفلام محصورة بين قطب كهربائي شفاف يعمل كأنود، والذي يعتمد على زجاج موصل، وقطب بلاتيني يعمل كموصل تحفيزي. يتم وضع إلكتروليت بين الفيلم والقطب الكهربي البلاتيني لنقل الإلكترونات (انظر الشكل 3). في هذه الخلايا، يحدث معظم امتصاص الضوء في جزيئات الصبغة، ويتم حقن الإلكترونات المنتجة في شريط التوصيل لأشباه الموصلات، ثم يتم فصل الشحنة عند السطح البيني بين تيتانيا وجزيئات الصبغة مما يؤدي إلى زيادة حصاد الضوء بسبب المساحة السطحية العالية للجسيمات النانوية. منذ ذلك الحين ، تم تصنيع الخلايا الشمسية النانوية البلورية ذات الحساسية الصبغية من الجسيمات النانوية للعديد من أشباه الموصلات [189] ومعماريات مختلفة مثل الأنابيب النانوية أو البلورات الضوئية أو الإسفنج الفوتوني بدلاً من الجسيمات النانوية ، مما يزيد من كفاءتها بشكل كبير. يركز سوق هذه الخلايا الشمسية ذات البنية النانوية القائمة على الصبغة، والتي لا تزال في مرحلة البحث، على التطبيقات الأرضية، حيث يتم اختبار الأجهزة مثل الخلايا الكهروكيميائية الضوئية والخلايا الشمسية البوليمرية والخلايا الشمسية البلورية النانوية. تمثل هذه الخلايا، جنبًا إلى جنب مع تقنيات النقاط الكمومية، الجيل الثالث من الخلايا الكهروضوئية، حيث تمزج أحدث التقنيات، المعروفة باسم التكنولوجيا الكهروضوئية المركبة، بين البوليمرات الموصلة أو أكاسيد المعادن المسامية مع مساحات سطحية عالية لزيادة الانعكاسات الداخلية مع الجسيمات النانوية، وبالتالي صنع طبقة واحدة متعددة الأطياف. يمكن تكديس العديد من هذه الطبقات لتقليل النفقات والكفاءة النظرية حتى 86.5٪، وللأسف لم تتحقق عمليًا. على

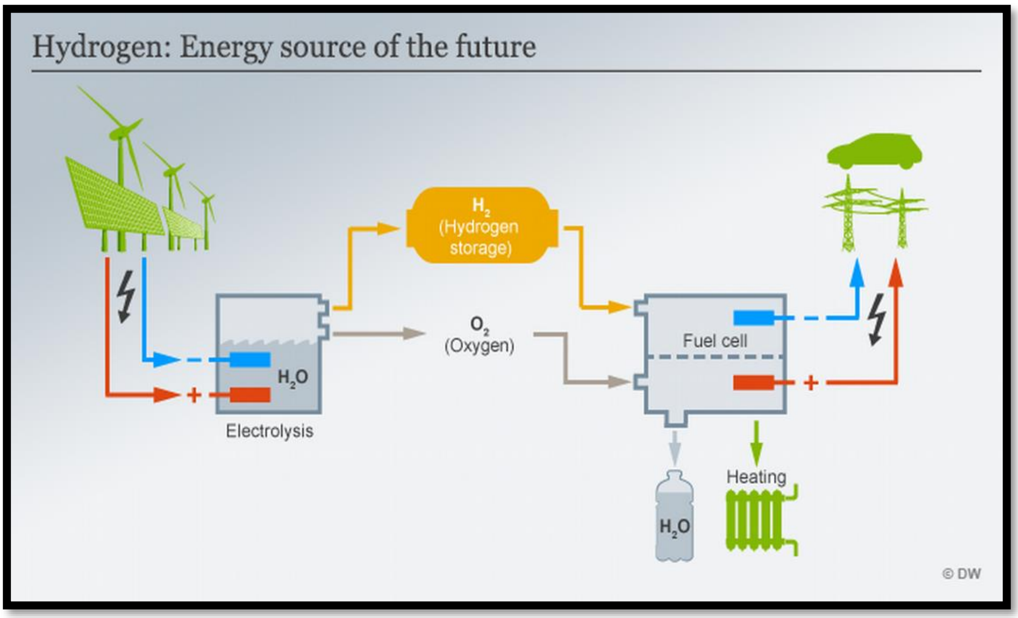
سبيل المثال، يؤدي استبدال المنحل بالكهرباء السائل في الخلايا الشمسية الصبغية التقليدية بمحلول إلكتروليت قائم على البوليمر أو بوليمر لنقل الثقوب إلى خلايا شمسية مرنة بتكاليف أقل وعمر أطول. وبهذا المعنى، فإن إنتاج الخلايا الشمسية العضوية أو الهجينة العضوية / غير العضوية قد زاد بشكل ملحوظ من إمكانات تحويل الطاقة الشمسية، وفتح نهجًا جديدًا في هذا المجال مع مجموعة واسعة من التقنيات المبتكرة. في الواقع، هناك بعض الشركات التي تعمل في مجال الخلايا الكهروضوئية من الجيل الرابع (مثل Nanosolar و Nanosys و Konarka Technologies، Inc.، وما إلى ذلك) ويتركز قدر كبير من الجهد العلمي على نفس النهج. ومع ذلك، لم يتم تحقيق الكفاءات الكافية حتى الآن. باختصار، الهدف هو زيادة نسبة الكفاءة / التكلفة بشكل ملحوظ، والذي يمكن تحقيقه باستخدام مواد ذات فجوات نطاقية مختلفة، أي طبقات متعددة من مواد متناهية الصغر بالغة الرقة، أو أصباغ جديدة أو نقاط كمومية، من بين أمور أخرى. في الواقع، تتمثل إحدى الأولويات التي اقترحتها الجمعية الملكية للكيمياء (RSC) في مراجعتها الأخيرة `` أولويات العلوم الكيميائية لحلول الطاقة المستدامة " في تطوير جيل جديد من المواد الكهروضوئية على أساس الجزيئية والبوليمرية والنانوية. مواد المرحلة [190]. وفقًا لذلك، فإن القدرة التراكمية الفعلية المركبة للطاقة الشمسية الكهروضوئية أعلى بقليل من 2000 ميغاواط. ومع ذلك ، فإن الاستخدام المتزايد للأجهزة الكهروضوئية والتحسينات الكبيرة في كل من الكفاءة والسعر تستمر في توليد سوق ينمو بنسبة 25٪ سنويًا.[186]

### 2.3.3 الطاقة الشمسية لإنتاج الهيدروجين
### Solar energy for hydrogen production

يمكن استخدام الطاقة الكهروضوئية في عملية التمثيل الضوئي الاصطناعي لتحطيم جزيئات الماء إلى هيدروجين وأكسجين عبر ما يسمى بالتحليل الكهربائي للمياه التحفيزية الضوئية. هذا يعني أنه يمكن تخزين الطاقة الشمسية مباشرة في شكل هيدروجين. وبالتالي، على الرغم من أن القسم التالي يتعامل مع اقتصاد الهيدروجين، فقد قررنا تضمين التمثيل الضوئي الاصطناعي في هذا القسم (الاقتصاد الشمسي) بسبب استخدام الإشعاع الشمسي كمصدر للطاقة لإنتاج الهيدروجين. تقسيم الماء هو مصطلح واسع يستخدم للإشارة إلى أي عملية كيميائية يتم فيها تحويل الماء إلى أكسجين وهيدروجين. تشمل الأبحاث النشطة في هذا المجال التقسيم الكيميائي الحراري للماء بدورة الكبريت واليود والتحليل الكهربائي بدرجة حرارة عالية والتحلل الحراري على ركائز الكربون المعيبة، وبالتالي جعل إنتاج الهيدروجين ممكنًا في درجات حرارة أقل بقليل من 1000 درجة مئوية، وتقسيم الماء عن طريق التحفيز الضوئي (التمثيل الضوئي الاصطناعي). ينتج هذا الأخير أيضًا إلكترونات لتشغيل سلسلة نقل الإلكترون في خطوة الفسفرة الضوئية لعملية التمثيل الضوئي. في الواقع،

أثبت الباحثون في مختبر الأبحاث الوطني للطاقة في الولايات المتحدة أنه عند تركيز ضوء الشمس، يتم تحقيق درجة حرارة عالية وتدفق شمسي، وبالتالي الحصول على الهيدروجين بطريقة رخيصة وصديقة للبيئة، أي تقسيم الميثان إلى هيدروجين وكربون. يتم البحث بنشاط عن التحفيز الضوئي، المعروف أيضًا باسم التمثيل الضوئي الاصطناعي، بدافع الطلب على الهيدروجين الرخيص الذي من المتوقع أن يرتفع مع اقتصاد الهيدروجين الجديد. تقنية النانو هي الأداة التي يمكن أن تجعل من الممكن إنتاج الهيدروجين من الطاقة الشمسية بطريقة نظيفة وصديقة للبيئة ومنخفضة التكلفة باستخدام فصل الماء التحفيزي. لهذا الغرض ، يمكن استخدام مجموعة متنوعة من أنظمة التحفيز شبه الموصلة النانوية القائمة على CdS أو SiCأو CuInSe2 أو[191] TiO2، وآخرها هو المرشح الواعد لأنه يفي بالمتطلبات المذكورة أعلاه. ومع ذلك، لا تزال هذه التكنولوجيا في مرحلة البحث بسبب التكلفة المرتبطة بكفاءة التحويل المنخفضة. عندما يتم استخدام التيتانيا ذات البنية النانوية كمحفز، يتم إعادة اتحاد الهيدروجين والأكسجين لإنتاج الماء. علاوة على ذلك، تبلغ فجوة نطاق TiO2حوالي 3.2 فولت، مما يعني أنه يمكن استخدام ضوء الأشعة فوق البنفسجية فقط لهذا الغرض. أخيرًا، تم أيضًا الإبلاغ عن إعادة التركيب السريع لأزواج الإلكترون / الثقوب المتولدة ضوئيًا في الأدبيات. وبالتالي، يتم تنفيذ الكثير من العمل لتقليل هذه العيوب التي تظهرها جزيئات TiO2 النانوية. يلخص ليونغ وزملاؤه [192] ،في مقالتهم الشاملة "مراجعة وتطوير حديث في تقسيم الماء التحفيزي الضوئي باستخدام TiO2 لإنتاج الهيدروجين" ، الأساليب المختلفة لجعل إنتاج الهيدروجين الضوئي الشمسي ممكنًا. يمكن تصنيف هذه الأساليب في فئتين عريضتين، إضافة المضافات الكيميائية وتعديل التحفيز الضوئي. تغطي إضافة الإضافات الكيميائية، من ناحية، الجهات المانحة للإلكترون، وهي كواشف ذبيحة أو كاسحات ثقب تتفاعل بشكل لا رجعة فيه مع فتحات نطاق التكافؤ وتجنب إعادة التركيب وبالتالي زيادة الكفاءة الكمية لفصل الإلكترون / الفتحة. على الرغم من استخدام الأيونات غير العضوية مثل + Ce4 + / Ce3 S2 / SO3 أو IO3 / I ،[193] فإن أكثر الجهات المانحة للإلكترون شيوعًا هي الهيدروكربونات. تم تصنيف قدرة تعزيز إنتاج الهيدروجين من قبل ندى وآخرون. بالترتيب التالي الميثانول والإيثانول وأخيراً حمض اللاكتيك. في الوقت نفسه ، يؤدي استخدام أملاح الكربونات كإضافات كيميائية إلى كبح التفاعل العكسي ، لأن أنواع الكربونات تستهلك الثقوب الناتجة عن الصور بكميات مناسبة ، مما يزيد بشكل كبير من إنتاج كل من الهيدروجين والأكسجين [194]. تقوم المجموعة الثانية، بناءً على تقنيات تعديل المحفّز الضوئي، بتغليف تعديل TiO2 عن طريق: (1) تحميل معدن نبيل، والذي يمكن أن يمنع إعادة تركيب الشحنة. البلاتين هو المعدن الأكثر شيوعًا ولكنه غالي الثمن، والآخر فعال وأقل معادن التكلفة هي Ni وCu وAg وAu وPd وRh. في الآونة

الأخيرة، تم تصنيع الأنابيب النانوية التيتانيا ذات التبادل الأيوني البلاتيني بواسطة خان وآخرون. [195] يظهر نشاطهم التحفيزي العالي على إنتاج الهيدروجين المتكافئ في كل من الماء والميثانول المائي. (2) المنشطات الأيونية ، بما في ذلك المعادن الانتقالية وأيونات المعادن الأرضية النادرة وكذلك الأنيونات مثل النيتروجين والكبريت [193]التي يمكن أن توسع الاستجابة الضوئية للمنطقة المرئية ، (3) التحسس ، بما في ذلك الصبغة التحسس والاقتران بين أشباه الموصلات ، و (4) غرس أيونات معدنية. ومن تقنيات التعديل هذه، فإن أكثر الطرق فعالية هي غرس أيون معدني وتحسس الصبغة. علاوة على ذلك، في تقنيات تحسس الصبغة، الموصوف في القسم السابق، يسمح الاستخدام الإضافي للعوامل القريبة بتجديد الأصباغ، والتي، في بعض الحالات، يمكن أن تعزز معدل إنتاج الهيدروجين. على سبيل المثال، قام ناكاتو وزملاؤه بتصنيع قطب كهربائي بغشاء رقيق مصنوع من متعدد البلورات- Si / مخدر TiO2 أشباه الموصلات. يتكون النظام من غشاء رقيق TiO2 مخدر بالجسيمات مدعوم على السطح على Si متعدد البلورات غير مكلف مما يسمح بامتصاص أجزاء قصيرة وطويلة الطول الموجي للضوء الشمسي، على التوالي. وبالتالي ، يمكن أن ينتج عن هذا المزيج كفاءة تحويل عالية من الطاقة الشمسية إلى مادة كيميائية تزيد عن 10 ٪ ، مما يؤدي إلى نهج واعد للغاية لتحويل الطاقة الشمسية بكفاءة ومنخفضة التكلفة.[186] كما موضح بالشكل (13.3)




**الشكل (13.3) الطاقة الشمسية لإنتاج الهيدروجين**

## 4.3 استخدام تقنية النانو في البيئية

## Use of nanotechnology in the environment

قد يكون التقدم في تكنولوجيا النانو قادراً على توفير أنظمة كشف أكثر حساسية لمراقبة جودة الهواء والماء، مما يسمح بالقياس المتزامن لمعلمات متعددة وقدرة الاستجابة في الوقت الفعلي. يتم تطوير المحفزات النانوية لأكسيد المعادن للوقاية من التلوث الناتج عن الانبعاثات الصناعية ويمكن استغلال الخصائص التحفيزية الضوئية لجسيمات ثاني أكسيد التيتانيوم النانوية لإنشاء التنظيف الذاتي الأسطح التي تقلل التلوث الموجود. ومع ذلك، في حين أن تقنية النانو قد توفر حلولًا لبعض المشاكل البيئية، لا يُعرف سوى القليل نسبيًا في الوقت الحالي عن التأثير البيئي للجسيمات النانوية، على الرغم من أنه في بعض الحالات ثبت أن التركيب الكيميائي والحجم والشكل يساهم في التأثيرات السمية. يمكن أن تساعد تقنية النانو في توفير الموارد من خلال استخدام مواد خفيفة الوزن وعالية القوة تعتمد على الأنابيب النانوية الكربونية وأطر أكسيد المعدن كمواد لتخزين الهيدروجين. تشمل التطبيقات الأخرى المتعلقة بالطاقة مواد الإلكترود النانوية لتحسين أداء بطاريات أيونات الليثيوم والسيليكون النانوي وثاني أكسيد التيتانيوم في الخلايا الكهروضوئية المتقدمة. من المهم وضع استراتيجية فعالة لإعادة تدوير واستعادة المواد النانوية والطرق اللازمة لتقييم ما إذا كانت الفوائد المحتملة لتقنية النانو تفوق المخاطر. سيكون تحليل دورة الحياة أداة مفيدة لتقييم التأثيرات البيئية الحقيقية.[196]

### 1.4.3 المراقبة البيئية Environmental Control

تتكون أنظمة المراقبة الحالية لتلوث الهواء من محطات كبيرة وثابتة تقع في مناطق حضرية في مواقع منفصلة جغرافيًا تفشل في تلبية الحاجة إلى مراقبة قمم التلوث "النقاط الساخنة" المحلية. يمكن أن توفر مستشعرات غاز الحالة الصلبة التي تعتمد على الأغشية الرقيقة لأكسيد المعدن النانوي استجابة أسرع مع إمكانية التحليل في الوقت الفعلي، ودقة مكانية أعلى، وتشغيل مبسط وتكاليف تشغيل أقل مقارنة بالطرق التقليدية مثل اللمعان الكيميائي وقياس الطيف بالأشعة تحت الحمراء. حساسيتها وانتقائيتها تعتمد على درجة حرارة التشغيل ، سماكة الفيلم ، المسامية وحجم الحبوب ويمكن زيادتها عن طريق تعاطي المنشطات بمحفز البلاتين[197]. تم تصنيع مستشعرات متعددة العناصر آلية صغيرة يمكنها بشكل عكسي وانتقائي الكشف عن أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد النيتروجين($NO_2$) ، عن طريق قياس التغيرات في التوصيل الكهربائي بسبب الامتصاص الكيميائي لجزيئات الغاز. الكشف عن ثاني أكسيد الكربون بتركيزات أقل من 1 جزء في المليون وأكسيد النيتروجين أقل من

101 جزء في المليون، وهو ما يقابل مستويات عند أو أقل من الحدود القانونية الحالية للاتحاد الأوروبي. من خلال الجمع بين مستشعرات الغاز ذات الحالة الصلبة ونظام تحديد المواقع العالمي (GPS) ، وربطها عبر شبكة مستشعر ذكية [198] يمكن نقل البيانات من مواقع بعيدة إلى موقع خدمة مركزي للسماح بالتحليل في الوقت الفعلي والاستجابة السريعة. الهدف من مشروع هندسة التوزيع المتقدمة (ADA) للمراقبة عن بعد هو تطوير وتنفيذ بنية شبكة مبتكرة، مدمجة في البنية التحتية للاتصالات الحالية، لتطبيقات مراقبة جودة الهواء. إن دمج تقنية الأغشية الرقيقة بأكسيد الفلز مع تصنيع الأجهزة المتوافقة مع CMOS يجعل من الممكن الكشف الانتقائي للتركيزات المنخفضة من ثاني أكسيد الكربون وثاني أكسيد النيتروجين والميثان بطريقة فعالة من حيث التكلفة[199]. تستخدم مستشعرات الغازات الصلبة ذات الهيكل النانوي مع مشروع الأداء الفائق (NANOS4) تقنيات متناهية الصغر والنانو لتطوير مستشعرات غاز أكسيد المعادن ذات الحساسية المتزايدة. تشتمل تقنيات التصنيع على النمو البلوري لعملية نقل الطور البخاري والطباعة النانوية الضوئية وشعاع الأيونات والإلكترون من أجل الإزالة الانتقائية للمواد. يتم تصنيع أكاسيد القصدير والإنديوم والزنك أو التنغستن في شكل أسلاك نانوية وأحزمة نانوية ومومياء نانوية[200]. تعمل هذه الأشكال على زيادة مساحة السطح الفعالة لأكسيد المعدن المعرض للغاز وسيتم تطبيقها في تصنيع الجيل التالي من مستشعرات الغاز المنتقاة والمستقرة. يتطلب مراقبة المياه للمواد العضوية وصولاً إلى نانوجرام لكل لتر لذلك هناك حاجة لأنظمة تحليلية سريعة وحساسة وفعالة من حيث التكلفة وسهلة الاستخدام قادرة على قياس الجزيئات العضوية المختلفة في العينات المائية. طور مشروع النظام المدعوم بالكمبيوتر (AWACSS) لمحلل المياه الآلي محطة استشعار حيوية بعيدة قادرة على قياس البيانات في الوقت الفعلي عن مستويات الملوثات (مبيدات الآفات والمضادات الحيوية، السموم الطبيعية والمواد المسرطنة والنفايات الصناعية وما إلى ذلك) ونقلها إلى جهاز كمبيوتر مركزي. يستخدم هذا الجهاز شريحة بصرية متكاملة تعتمد على تقنية المقايسة المناعية [201] التي يمكنها اكتشاف وتوفير المعلومات حول ما يصل إلى 32 تحليلاً مختلفًا في غضون 18 دقيقة. ليست هناك حاجة إلى معالجة عينات مسبقة بخلاف مرحلة الترشيح الأولي المفردة لإزالة الجسيمات. الحد الأدنى من حدود الكشف أقل من المستويات الآمنة المعتمدة من قبل الاتحاد الأوروبي لمعظم المركبات الهامة، ويمكن إعادة استخدام الشريحة حتى 500 مرة تقريبًا قبل أن تتطلب كيمياء السطح التجديد. بينما كانت هناك تطورات ملحوظة في اكتشاف جزيئات الملوثات في الهواء والماء، لا تزال هناك حاجة إلى أجهزة محمولة وغير مكلفة لاكتشاف وقياس الجسيمات النانوية. تعتمد سمية الجسيمات النانوية على مساحة السطح والشكل وكذلك التركيب الكيميائي والحجم. لا توجد أنظمة متاحة حاليًا يمكنها تحديد كل هذه المعلمات بدقة

وبشكل روتيني في وقت واحد. تشمل التطبيقات المحتملة لأجهزة من هذا النوع تحليل الجسيمات متناهية الصغر الناتجة عن عمليات الاحتراق ومراقبة مكان العمل للصناعات التصنيعية للجسيمات النانوية الهندسية.

### 2.4.3 العلاج والتلوث Treatment and contamination

محطات الترشيح والتنقية المستخدمة لتوفير مياه الشرب النظيفة في كثير من الحالات لها نجاح محدود بسبب عدم كفاءة المواد الفعالة. كنتيجة لكبر مساحة سطحها المحدد، تكون الجسيمات النانوية أكثر نشاطًا بشكل ملحوظ من الجسيمات الأكبر من نفس المادة. تم استغلال هذه الخاصية في استخدام جزيئات أكسيد الحديد النانوية لإزالة الزرنيخ من المياه الجوفية[202]. الجسيمات النانوية لأكسيد الحديد قادرة على ربط الزرنيخ بشكل لا رجعة فيه بخمسة إلى عشر مرات بشكل أكثر فاعلية من الجسيمات ذات الحجم الميكروني، وبسبب خواصها المغناطيسية الفائقة، يمكن فصلها عن الماء النقي عن طريق تطبيق مجال مغناطيسي. يمكن استرداد الجسيمات النانوية بعد ذلك عن طريق إلغاء تنشيط المجال المغناطيسي مع وجود خطر ضئيل من إطلاقها في البيئة. أشارت الاختبارات المعملية إلى أنه يمكن إزالة ما يزيد عن 99٪ من الزرنيخ في عينات المياه باستخدام جزيئات نانوية من أكسيد الحديد بقطر 12 نانومتر، وتلعب محفزات أكسيد المعادن دورًا أساسيًا في إنتاج البتروكيماويات، وكذلك في تطبيقات الطاقة وحماية البيئة. يقوم مشروع تنسيق البحث والتطوير لأكاسيد التحفيز النانوية في أوروبا (CONCORDE) بتطوير محفزات أكسيد المعادن ذات البنية النانوية للتطبيقات في معالجة التلوث أو الوقاية منه وللمساهمة في استخدام أكثر كفاءة للطاقة والمواد. تشتمل أنشطة البحث على طرق تحضير متقدمة، وتطوير محفزات جديدة، وكيمياء سطح أكاسيد المعادن، وتحسين أداء المحفز، ودراسات التفاعلات التحفيزية وهندسة المحفزات. تشتمل العديد من التطبيقات على محفزات مختلطة تتكون من أكاسيد مختلفة أو معادن نبيلة [201] ، بحيث يتم تحديد النشاط التحفيزي ليس فقط من خلال الذرات المكونة ، ولكن أيضًا من خلال الهياكل البلورية أو السطحية المجاورة. لذلك من الضروري التحكم بدقة في توليف المحفزات ذات البنية النانوية وفهم التفاعل الكيميائي للمركّز النشط المحفّز وكيف يتأثر ذلك بظروف التفاعل. وتشمل التطبيقات محفزات إزالة أكاسيد النيتروجين لإزالة أكاسيد النيتروجين من الغازات المنبعثة من محطات توليد الطاقة بالوقود الأحفوري والتحفيز الضوئي لثاني أكسيد التيتانيوم لتحلل المركبات العضوية المتطايرة (VOCs). يمكن دمج الجسيمات النانوية في الدهانات والطلاءات لزيادة وظائفها ومتانتها وإنشاء أسطح "ذاتية التنظيف". تم مسح مجال الطلاءات ذاتية التنظيف في مراجعة حديثة تغطي المواد الرئيسية المستخدمة في التطبيقات التجارية

وتلخص أنشطة البحث الحالية. تم استخدام الطلاءات الكارهة للماء لتصنيع الأسطح الطاردة للسائل، وأصبحت الزجاجات ذاتية التنظيف متاحة مؤخرًا والتي تستغل تأثير التحفيز الضوئي لطبقة رقيقة من TiO2 المترسبة على السطح. يدرس مشروع تطبيقات الأغطية المبتكرة الضوئية لتقييم إزالة التلوث (PICADA) تطبيق جزيئات ثاني أكسيد التيتانيوم النانوية للاستخدام في الطلاءات المعمارية مع خصائص إزالة التلوث وإزالة التلوث. ثاني أكسيد التيتانيوم هو عامل مؤكسد قوي عند تعرضه للأشعة فوق البنفسجية وهو قادر على تكسير المركبات العضوية المتطايرة وأكاسيد النيتروز والملوثات الأخرى إلى أنواع أقل ضررًا. يولد التشعيع بفوتونات الطاقة 43.2 فولتًا أزواجًا من الإلكترونات وأزواجًا من الثقوب تسبب تفاعلات الأكسدة والاختزال مع جزيئات الأكسجين والماء [189] ، وتشكل جذورًا حرة مؤكسدة تتفاعل مع المركبات الممتصة على السطح ، مما يؤدي إلى تدهورها. الحاجة إلى تطوير فهم أفضل للآثار قصيرة وطويلة المدى لتكنولوجيا النانو على الصحة والبيئة. هناك مشروعان أوروبيان متكاملان يعالجان هذه القضية. الهدف من مشروع تحسين فهم تأثير الجسيمات النانوية على صحة الإنسان والبيئة (IMPART) هو تعزيز التواصل فيما يتعلق بالآثار الصحية والبيئية المحتملة للجسيمات النانوية على المستوى الإقليمي والوطني والدولي من أجل الحد من ازدواجية الجهود، تجمع الخبرات وتسهيلها تعاون. يركز الدعم الاستقصائي لتوضيح التأثير السمي للجسيمات النانوية على صحة الإنسان والبيئة (NANOTOX) على الطرق المحتملة للتشتت والتلوث بواسطة الجسيمات النانوية. مصدر القلق الرئيسي هو أن الجسيمات النانوية قد لا يمكن اكتشافها بعد إطلاقها في البيئة، مما يخلق صعوبات في المعالجة. يجري حاليًا تطوير مجموعة شاملة من الإرشادات والتوصيات لاستخدامها من قبل المشرعين والمنظمين وصانعي السياسات الأوروبيين من أجل إنتاجها واستخدامها بشكل آمن، وهناك أربع فئات متميزة من الجسيمات النانوية التي يمكن أن يتعرض لها البشر: الاحتراق المشتقات؛ الجسيمات النانوية المصنعة بالجملة؛ جسيمات نانوية هندسية مجانية؛ الجسيمات النانوية التي تدار طبيا. من المعروف أن المستويات المرتفعة من PM10 ترتبط بزيادة الامراض والوفيات بسبب أمراض الجهاز التنفسي والقلب والأوعية الدموية وقد ثبت أن استنشاق الجسيمات في هذا النطاق الحجمي يسبب التهاب الرئتين والخلل البطانية. كل من مساحة السطح والطبيعة الكيميائية للجسيمات لها تأثير كبير على النتائج الفسيولوجية. هناك أيضًا أدلة متزايدة على أن الجسيمات النانوية المستنشقة، نتيجة لصغر حجمها، قادرة على اختراق ظهارة الرئة، مما يسمح بالانتقال إلى الكبد والطحال والدماغ والأعضاء الأخرى. تعد كيمياء سطح الجسيمات النانوية محددًا رئيسيًا لخصائصها السامة. في حين أن جسيمات C60 الفوليرين سامة للخلايا، على سبيل المثال، وجد أن الشكل الهيدروكسيل، $C_{60}$ (OH) $_{24}$، ذو سمية منخفضة لخطوط الخلايا

المسترزرعة، مثل الأنابيب النانوية الكربونية الوظيفية أحادية الجدار[203]. على الرغم من أنه يمكن اعتبار الركام عمومًا أقل خطورة من الجسيمات النانوية الفردية، إلا أن التفكك يميل إلى الحدوث بعد الاستنشاق عند التلامس مع المواد الخافضة للتوتر السطحي موجودة على بطانة الرئة. يجب أن يأخذ تقييم مخاطر الجسيمات النانوية في الاعتبار المخاطر السمية، واحتمال التعرض، والمصير البيئي والبيولوجي، والنقل، والمثابرة، والتحول إلى المنتج النهائي وإعادة التدوير. تتمثل إحدى طرق تقليل احتمالية التعرض في تغليف المواد النانوية داخل حاجز خامل (على سبيل المثال، يمكن استخدام السيليكون لتغطية النقاط الكمومية). وهناك طريقة أخرى تتمثل في إنشاء هياكل نانوية غير متحركة على سطح له نشاط مماثل للجسيمات النانوية الحرة دون المخاطر الكامنة في التشتت. يقوم مشروع الإنتاج والاستخدام الآمن للمواد النانوية (NANOSAFE2) بتطوير والتحقق من تقييم المخاطر واستراتيجية إدارة المخاطر، بما في ذلك طرق الكشف والتتبع والتوصيف، من أجل الإنتاج الصناعي الآمن للجسيمات النانوية. يأخذ هذا في الاعتبار دورة الحياة بأكملها بما في ذلك الإنتاج والتخزين والنقل والتحول إلى المنتج النهائي، وكذلك أثناء الاستخدام والتخلص النهائي في نهاية عمر المنتج. تتم دراسة الحلول التكنولوجية المتقدمة لتصميم معدات إنتاج آمنة وأنظمة المناولة والحبس وأجهزة الحماية الفردية والمرشحات للحد من التعرض للجسيمات النانوية وإطلاقها في البيئة[196].

### 3.4.3 توفير الموارد Save resources

التنمية المستدامة هي الأساس الاقتصادي النمو مع ضمان حماية البيئة. تعد تقنية النانو مكونًا أساسيًا للابتكار في الصناعة الكيميائية والصناعات الأخرى القائمة على المواد، بينما ستؤثر الاهتمامات البيئية على تطوير المنتجات في المستقبل. الأنابيب النانوية الكربونية لها الكثير التطبيقات المحتملة، بما في ذلك المركبات عالية القوة، وأجهزة تخزين الطاقة وتحويل الطاقة، وأجهزة الاستشعار، وشاشات عرض الانبعاثات الميدانية ومصادر الإشعاع، ووسائط تخزين الهيدروجين، وأجهزة أشباه الموصلات بحجم نانومتر، والتحقيقات والوصلات. تمتلك الأطر المعدنية العضوية (MOFs) أعلى مساحة سطحية محددة (3500 م$^2$ / جم) من أي مادة نانوية مصنعة وقدرة هيدروجين في درجة حرارة الغرفة مماثلة لتلك الخاصة بالأنابيب النانوية الكربونية في درجات الحرارة المبردة. تكاليف الإنتاج تمثل حاجزًا كبيرًا أمام تطبيق العديد من المواد النانوية ولكن من المتوقع أن يؤدي تطوير عملية مبتكرة إلى تقليلها. إن انخفاض تكلفة الأنابيب النانوية أحادية الجدار من h1000 / kg الحالي إلى أقل من h50 / kg سيجعل استخدامها على نطاق واسع مجديًا اقتصاديًا، ويمكن لتقنية النانو أيضًا توفير الموارد من خلال تحسين كفاءة مصادر الطاقة المتجددة وأجهزة

تخزين الطاقة. تهدف الشبكة الأوروبية للتميز في أنظمة تخزين طاقة الليثيوم المتقدمة إلى زيادة إنتاج الطاقة لبطاريات الليثيوم القابلة لإعادة الشحن من 200 إلى 300 واط / كجم حاليًا باستخدام مواد قطب نانوية[204]. تم زيادة إنتاج الإلكترون لكل ذرة قطب من 0.6 إلى 2 مع البنية النانوية أكسيد الكوبالت الليثيوم، المتكون في الموقع خلال دورة الشحن الأولى لذلك لا يتم توليد جزيئات نانوية حرة. وبدلاً من ذلك، يمكن استخدام فلوريد الحديد، وكلوريد الكوبالت، وأكسيد الروبيديوم، وفوسفيد النيكل، وهي متساوية أو أكثر فاعلية (حتى 6 إلكترونات / ذرة معدنية). يزيد استخدام الأقطاب الكهربائية ذات البنية النانوية من معدلات الشحن / التفريغ عن طريق تقصير مسارات انتشار أيونات الليثيوم والإلكترونات ويمكن أن تستوعب بشكل أفضل هجرة أيونات الليثيوم أثناء دورة الشحن، بحيث تكون البطاريات أيضًا أكثر أمانًا في جوهرها. لقد ثبت أن سلامة القطب الكهربي لا تتأثر بعد أكثر من 1000 دورة شحن / تفريغ. السيليكون النانوي له مزايا كمواد للخلايا الشمسية، بما في ذلك مقاومة الانعكاس وحبس الضوء وخصائص تخميل السطح، انخفاض سماكة الطبقة النشطة بسبب طول الانتشار المنخفض لجمع الشحنات بكفاءة، والجهد العالي الذي يمكن بلوغه. يؤدي هيكلها المسامي إلى حبس كمي وزيادة في فجوة الحزمة، بينما يؤدي امتصاص الضوء المتزايد إلى كفاءة كمية داخلية أعلى (IQE). يتم فحص مفاعل ترسيب البخار الكيميائي المحسن ببلازما الطاقة (LEPECVD) بواسطة مشروع أفلام السيليكون النانوية البلورية للتطبيقات الكهروضوئية والإلكترونية الضوئية (NANOPHOTO) كبديل للخلايا الكهروضوئية Si ، تمتلك الخلايا الشمسية العضوية تم تطويره باستخدام جزيئات $TiO_2$ النانوية المطلية بصبغة عضوية لتحويل الضوء إلى طاقة من خلال عملية مماثلة لعملية التمثيل الضوئي[205]. يؤدي امتصاص الفوتونات بواسطة $TiO_2$ إلى حقن الإلكترونات في نطاق التوصيل وانتشار الجسيمات باتجاه القطب الموجب؛ تجمع أيونات اليود في الإلكتروليت الإلكترونات عند القطب السالب، مما يتسبب في تدفق التيار. على الرغم من أن كفاءة التحويل تبلغ حوالي 10٪ فقط، إلا أنه يمكن تصنيع هذا النوع من الخلايا من مواد غير مكلفة ومنخفضة النقاوة باستخدام طرق بسيطة. الحالة الصلبة صبغ الخلايا الشمسية الحساسة، التي السائل فيها يتم استبدال المنحل بالكهرباء بمعدن، وهو أيضًا قيد التطوير. توفر تقنيات النانو إمكانيات رائعة لزيادة الاستخدام الفعال للموارد الطبيعية والطاقة. في حين أن الاتحاد الأوروبي ككل قد استقر في استهلاكه من المواد الخام خلال السنوات الأخيرة، فقد زاد اعتماده على الواردات بشكل كبير. العديد من المواد الأساسية المستخدمة في التقنيات المتقدمة محدودة للغاية. يتم الحصول على البلاتين، على سبيل المثال، من أربعة مواقع فقط في جميع أنحاء العالم يبلغ إجمالي إنتاجها السنوي 200 طن، بينما يتم استخراج 350 طنًا فقط من الإنديوم سنويًا من ستة مواقع فقط. كلتا هاتين المادتين

مكونات لا غنى عنها للتقنيات الهامة) مثل البلاتين للمحولات الحفازة والإنديوم في شاشات LCDوالخلايا الشمسية .(بدون استراتيجية فعالة لإعادة التدوير والاستعادة، فإن تشتت هذه الموارد الاستراتيجية في البيئة سيؤدي في النهاية إلى نقص حاد في المواد الخام للصناعات المهمة اقتصاديًا. لذلك من الضروري فحص المتطلبات المادية للتقنيات الجديدة عن كثب، والاستثمار في تلك التي تكون مستدامة، إما لأنها تستخدم مواد وفيرة أو تسمح بتحسين استخدام المواد للحد من تشتت المواد النادرة وتسهيل إعادة التدوير[201]. عند إجراء تقييم الأثر البيئي للمواد النانوية، يجب مراعاة دورة الحياة بأكملها، وليس فقط مرحلة الإنتاج. تحليل دورة الحياة (LCA) هو أسلوب مفيد لحساب الطاقة والمواد الخام المتطلبات المادية لتصنيع المنتج واستخدامه والتخلص النهائي منه أو إعادة استخدامه. لتقليل التأثير البيئي وتحقيق الاستدامة، يجب إغلاق حلقات المواد ومن الضروري الحصول على تقدير دقيق للتأثير البيئي الكامل. ويمكن توضيح ذلك من خلال دراسة حالة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، والتي كان من المتوقع في البداية أن تقلل بشكل كبير من استهلاك الطاقة والمواد. في حين تم تحقيق ذلك إلى حد ما ، فإن المدخرات الإجمالية أصغر بكثير مما كان متوقعا في الأصل ويتطلب كل معالج كمية كبيرة من المواد الخام لإنتاجه (حوالي 20 كجم لتصنيع شريحة 90 جم) بالإضافة إلى استهلاك كمية كبيرة كمية الطاقة أثناء الاستخدام.[196]

## 5.3 إدارة الموارد الطبيعية Natural Resource Management

### 1.5.3 إدارة خصوبة التربة Soil Fertility Management

الأسمدة مطلوبة للحفاظ على خصوبة التربة وإنتاج الغذاء وجودة المحاصيل خاصة بعد اعتماد الأصناف عالية الإنتاجية والهجينة والمستجيبة للأسمدة. تتسبب طرق استخدام الأسمدة التقليدية (مثل الرش والبث) في خسائر عن طريق الترشيح، والانجراف، ومياه الجريان السطحي، والتبخر، والتحلل المائي الناتج عن رطوبة التربة، والتحلل الميكروبي والمحلل الضوئي. هذه تسبب تركيز أقل للوصول إلى الموقع المستهدف. يتم فقدان حوالي 40-70٪ نيتروجين، و80-90٪ فوسفور، و50-90٪ بوتاسيوم من الأسمدة المطبقة تقليديًا في البيئة مما أدى إلى الحاجة إلى التطبيقات المتكررة للأسمدة ومبيدات الآفات. لكن الإفراط في استخدام الأسمدة والمبيدات يتسبب في تلوث البيئة. تدهور الموارد الطبيعية؛ مقاومة مبيدات الآفات في الآفات ومسببات الأمراض؛ الحد من البكتيريا في التربة وتثبيت

النيتروجين؛ والتراكم البيولوجي من مبيدات الآفات. ومن ثم، فإن الاستخدام الأمثل للأسمدة الكيماوية / الاصطناعية حسب الطلب التغذوية للمحصول والحد الأدنى من التلوث البيئي هو حاجة الساعة. يمكن القيام بذلك من خلال استخدام الأسمدة النانوية. الأسمدة النانوية وتسمى أيضًا الأسمدة الذكية ، وهي إما مواد نانوية (NMs) توفر مغذيات مفردة أو متعددة للنباتات التي تعمل على تحسين نمو وإنتاج المحاصيل أو تلك التي تكمل الأداء الأفضل للأسمدة الاصطناعية التقليدية ، دون إمداد المحاصيل بالمغذيات مباشرة .[206]السماد النانوي هو منتج بمستوى نانومتر يوفر المغذيات لمواقع مستهدفة محددة ويمكن أن يحسن كفاءة استخدام المغذيات (NUE) ويقلل من التدهور البيئي .يتم إجراء الكبسولة النانوية للأسمدة بثلاث طرق: العناصر الغذائية (أ) مغلفة بمواد نانوية المسام، (ب) مغلفة بغشاء بوليمر رقيق، أو (ج) يتم تسليمها كجسيمات نانوية أو مستحلبات نانوية .إن تغليف المواد النانوية على الأسمدة يرتبط بقوة أكبر بالمادة بسبب التوتر السطحي العالي .تتميز الصيغة النانوية للأسمدة بخصائص مثل قابلية الذوبان العالية، والتحكم في التحرير وفي الوقت المناسب، والاستقرار، والفعالية، والنشاط المستهدف المحسن من خلال توفير التركيز المطلوب، وتقليل السمية بسهولة، التوزيع الآمن والتخلص منها. يتم تحضير الجسيمات النانوية المحملة بالمغذيات عن طريق (أ) الامتصاص، (ب) بوساطة لجند المرفق، (ج) تغليف غلاف الجسيمات النانوية البوليمرية، (د) البوليمر احتباس الجسيمات النانوية، و (هـ) تخليق الجسيمات النانوية الغنية بالمغذيات. لقد أثبتت العديد من الدراسات بالفعل أهمية الأسمدة النانوية. يمكن للجسيمات النانوية التي يقل قطرها عن مسام جدار الخلية (5-20 نانومتر) أن تنتقل إلى الخلايا النباتية مباشرة من خلال تكوينات جدار الخلية النباتية الشبيهة بالمنخل. بعد إذابة الأسمدة النانوية في الماء، يتم إطلاق أيونات المغذيات القابلة للذوبان في التربة. أيونات المغذيات القابلة للذوبان مثل الأسمدة التقليدية المذابة؛ وهكذا تمتص النباتات أيونات المغذيات المنبعثة من الأسمدة النانوية. نسبة ونطاق يكون انحلال الأسمدة النانوية في الوسط المائي ومحلول التربة أكبر (بسبب أبعاد الجسيمات الأقل بشكل كبير ومساحات السطح المحددة الأكبر) قيم علاقات وحزم الشيتوزان يحتوي محلول الجسيمات النانوية على الأسمدة N و Pو K وحصل على نتائج محسنة .أعد صياغة نانوية هيدروكسيباتيت (HA) معدلة باليوريا من أجل إطلاق ثابت للنيتروجين لتلبية الطلب على نمو المحاصيل. في البداية أظهرت HA nanoformulation زيادة. ومع ذلك يمكنهم إطلاق النيتروجين لمدة تصل إلى 60 يومًا من نمو المحاصيل. تم الإبلاغ عن جزيئات السيليكا النانوية ميسوبوروس (150 نانومتر) لالتقاط اليوريا ولديها وقت إطلاق أكبر بمقدار خمسة أضعاف .وقد لوحظ أن 15.5٪ من اليوريا كانت محتواه داخل جسيمات السيليكا النانوية متوسطة المسام وأظهرت تصريف اليوريا المُقاس في الماء والتربة. ميلاني وآخرون تميز عام 2012

بحركية الذوبان والانحلال من اليوريا وفوسفات الأمونيوم الأحادي (MAP) المغلفة بجسيمات ZnO النانوية وجزيئات ZnO السائبة ووجدت أداءً أفضل لجسيمات ZnO النانوية

## 6.3 التحديات في الاتصالات النانوية Nano communication

تعد الاتصالات النانوية مجال بحث سريع التطور مصمم لتطوير تقنيات اتصال جديدة لاستخدامها في الأجهزة النانوية في الزراعة. هناك العديد من القضايا الصعبة في الاتصالات النانوية التي يجب معالجتها أثناء تقدم البحث مثل nanoantennas (الطول ~ 100 نانومتر) وأجهزة الإرسال النانوية. شرط أعلى التردد في nanoantennas ، بشكل عام أكبر من 10 تيراهيرتز ، يمكن التغلب عليه باستخدام الجرافين أو الأنابيب النانوية الكربونية لتقليل التردد اللازم إلى 0.1 تيراهيرتز. بالإضافة إلى ذلك، يجب النظر في التأثيرات الكمومية على المستوى النانوي. هناك قد يكونان ترددان محتملان، وهما نطاق ميغاهيرتز ونطاق تيرا هيرتز، وهما العمل لشبكات nanosensor اللاسلكية. بالإضافة إلى ذلك، الاتصال لمستشعر النانو سيكون قادرًا على العمل لمسافات أطول بترددات أقل. رغم ذلك توليد الموجات الكهرومغناطيسية في جهاز نانوي من خلال عملية ميكانيكية ليست فعالة في استخدام الطاقة على الإطلاق، على النقيض من ذلك، يمكن للموجات ذات التردد العالي التحكم في الآلاف من تم تركيب الملايين من أجهزة الاستشعار النانوية لمساحة أكبر. لذلك يجب على المستشعرات النانوية تتواصل بشكل أساسي بتردد تيرا هيرتز (10.0-0.1 تيراهيرتز) وهو أقل ما تم فحصه نطاق الطيف الكهرومغناطيسي. وبالتالي، فإن تطوير نماذج القنوات الجديدة في تردد تيراهيرتز هو التحدي البحثي الأساسي للاتصال بمستشعر نانوي جهاز .تحد آخر في الاتصالات النانوية يشمل أجهزة الإرسال والاستقبال النانوية. لا يمكن تبديل ترانزستورات الجرافين الموجودة إلا عند 100 جيجاهرتز ، والضوضاء الإلكترونية تقيد نطاق الاتصال. لذلك هذا كثير جدا مطلوب لتطوير ترانزستورات أسرع في نطاق 1-10 تيراهيرتز وصياغة نماذج أكثر دقة للضوضاء في الإلكترونيات القائمة على الجرافين) .شهد التحدي الرئيسي في تصميم وتحليل اللاسلكي شبكات مستشعر النانو هي اتصال بين الأجهزة النانوية. بسبب الطاقة المحدودة العرض في جهاز nanosensor ، يعد حصاد الطاقة واستهلاكها مشكلة كبيرة في .WNSNيؤثر حجم الشبكة أيضًا على كفاءة الشبكة، حيث يختلف عدد العقد النانوية باختلاف حجم الشبكة. قد يكون لهذه السلوكيات المختلفة للحزمة نسبة الخسارة (PLR) وتأخير الحزمة مع أحجام مختلفة من الشبكات. لإدارة الحجم للشبكة والمعلمات الأخرى للشبكة، تحكم فعال في الوصول إلى الوسائط (MAC) بروتوكول وخوارزمية التوجيه مطلوبة

## 7.3 تطبيقات تقنية النانو في الزراعة

## Nanotechnology applications in agriculture

مع مرور الوقت، تحصل الزراعة على فوائد ثابتة من الابتكارات التكنولوجية المختلفة مثل الأنواع الهجينة والأسمدة الاصطناعية والمبيدات الحشرية. يدرك علماء الزراعة الآن أن الابتكار الذكي مثل تكنولوجيا النانو مطلوب بشدة للنمو الزراعي، لمواجهة التحديات العالمية للأمن الغذائي وتغير المناخ، ولم تأت أهمية تطبيقات تكنولوجيا النانو في القطاع الزراعي إلا في السنوات الأخيرة، ولكن البحث بدأ حوالي نصف عام القرن الماضي . استخدامات المواد النانوية مطلوبة لزيادة كفاءة استخدام الأسمدة (أو الأسمدة) ، والغلات ، وتقليل الحاجة إلى مبيدات الآفات ؛ سريع ومبكر الكشف عن مسببات الأمراض والمواد الكيميائية السامة في المواد الغذائية ؛ أنظمة ذكية لتوصيل المبيدات والأسمدة ؛ الأنظمة الذكية المستخدمة لتغليف الأغذية ومعالجتها ؛ وتنظيم الأمن الغذائي الزراعي. يمكن تحسين الإنتاجية الزراعية من خلال الحيوانات والنباتات المحسنة وراثيًا المستحدثة بالمواد النانوية، وتوصيل الأدوية والجينات الخاصة بالموقع للجزيئات على المستويات الخلوية / الجزيئية في الحيوانات والنباتات، ومجموعة النانو- التعديل الوراثي القائم على الحيوانات والنباتات في ظروف الإجهاد. يمكن للمرشحات النانوية أو المحفزات النانوية أن تتحلل وتقلل من الملوثات الموجودة وبالتالي تلوث. في الزراعة، يمكن استخدام تكنولوجيا النانو لإنتاج أسمدة نانوية بطيئة الإطلاق لاستخدامها في الأسمدة بواسطة النباتات؛ مبيدات الآفات مغلفة بالجسيمات النانوية للإطلاق الخاضع للرقابة وعند الطلب؛ تسليم الأدوية والمغذيات في مواقع محددة في مصايد الأسماك والثروة الحيوانية؛ الجسيمات النانوية والفرش النانوية والأغشية النانوية لمعالجة المياه والتربة؛ تنظيف وصيانة أحواض الأسماك؛ ومستشعرات النانو لتقييم صحة النبات وجودة التربة. تم إعطاء بعض الاختراقات الحديثة في مجال تكنولوجيا النانو في الزراعة. يمكن أن تكون الأجهزة التي تعتمد على مستشعرات النانو هي اللاعب الرئيسي للمراقبة في الوقت الفعلي والتلقائي إذا كانت تعمل وفقًا لتصميمها وستصبح أجهزة الاستشعار اللاسلكية المنتشرة في كل مكان أداة مساعدة لا غنى عنها لتحقيق هذه الرؤية للزراعة الدقيقة حتى مرحلة النضج. من المتوقع أن تقدم مستشعرات النانو المتصلة بالشبكة الموزعة في جميع أنحاء الحقل بيانات مفصلة وشاملة عن بيئات المحاصيل والتربة مثل رطوبة التربة، وحالة المغذيات للتربة والمحاصيل، ودرجة حرارة التربة، وتفشي الحشائش، والحشرات، وأمراض النبات ونقل هذه المعلومات في الوقت الفعلي إلى مكان بعيد. هذه المراقبة في الوقت الحقيقي مع اللاسلكي توفر مستشعرات النانو في جميع أنحاء حقول المحاصيل بيانات مهمة عن أفضل وقت للبذر والحصاد للمحاصيل،

والتطبيق الدقيق للكمية المطلوبة من المياه والأسمدة، ورش مبيدات الأعشاب ومبيدات الآفات، وغيرها من العلاجات. وقد حفز هذا الزراعة الدقيقة لزيادة قوتها المسيطرة. في المستقبل القريب، يمكن تطوير أنظمة توزيع المياه الأكثر دقة والتي تتطلب تخزين المياه، وسعة الاحتفاظ بالمياه في الموقع (WHC) ، وتوافر رطوبة التربة عند الجذور ، وكفاءة المصنع لامتصاص المياه ، والإفراج حسب الطلب للمياه المغلفة ، والتواصل مع الذكاء الميداني من خلال اللاسلكي شبكات.nanosensor نظرًا لأن مكونات الأجهزة النانوية مثل المستشعرات النانوية والمعالج والهوائي والذاكرة تستهلك طاقة أقل جدًا ، فإن ذرة المستشعر النانوي توفر عمر بطارية أطول من المستشعر العادي الذي كان يتم وضعه في نبات المحاصيل. مرة أخرى، يقلل صغر عقدة المستشعر بشكل حاد من فرصة إتلاف القشرة .
هناك تطبيقان آخران مهمان هما مراقبة التربة درجة الحرارة ورطوبة التربة. في المياه، باعتبارها مدخلاً هامًا في الزراعة، فإن المعلومات الدقيقة عن توزيع المياه بالقرب من الجذور أمر بالغ الأهمية لتطوير أنظمة التحكم في الري. على الرغم من أن الطرق التقليدية باهظة الثمن وتستغرق وقتًا طويلاً، فإنها غير قادرة على اكتشاف وإرسال معلومات في الوقت الفعلي عن رطوبة التربة ودرجة الحرارة عند الحاجة. أظهر تطوير أجهزة استشعار منخفضة التكلفة تعتمد على تقنية النانو اللاسلكية إمكانات هائلة لاكتشاف الرطوبة بالإضافة إلى درجة حرارة التربة. تتكون هذه المستشعرات من حزم ناتئ MEMS (أنظمة كهروميكانيكية دقيقة) مغطاة بطبقة نانوية حساسة للكشف عن الرطوبة ومستشعر مقاومة بيزو على الرقاقة لحساسية درجة الحرارة. مستشعرات MEMS القائمة على تقنية النانو قادرة على الاستشعار وكذلك الاستجابة للتغيرات في بيئات المحاصيل والتربة باستخدام الدوائر الإلكترونية الدقيقة. ركز مشروع يسمى SoilNet على تطوير شبكة استشعار حساسة لتغيرات رطوبة التربة للمراقبة الزمنية والمكانية في منطقة مستجمعات المياه الصغيرة في Wüstebach (حوالي 26.7 هكتار) التي تتكون من 12 عقدة منسقة إلى جانب 286 عقدة فرعية. يحتوي SoilNet على ميزات نموذجية مثل شبكة الاستشعار اللاسلكية الديناميكية والقابلة للتوسعة باستخدام بروتوكول اتصال عالي المستوى (Zigbee) وعمر بطارية أطول وقاعدة بيانات يمكن الوصول إليها بسهولة للبيانات المقاسة وتكوينات مخصصة للعقد لتسهيل ترتيبات القياس المعدلة. كان فعالاً في مراقبة التغيرات في رطوبة التربة في موقع غابة 100 × 100 متر يقع في مبنى Forschungszentrum Jülich المجهز بـ 25 جهازًا طرفيًا يتكون كل منها من 6 مستشعرات لمحتوى التربة المائي.[206]

## 8.3 تطبيق المواد النانوية في المبيدات

## Application of nanomaterials in pesticides

المواد النانوية لها العديد من التطبيقات المحتملة في الزراعة تعزيز إنتاجية المحاصيل وتحسين صحة التربة تم تسليط الضوء عليه في هذا القسم. هنا، نوضح التطورات المختلفة في مجال الأسمدة النانوية، ومبيدات الآفات النانوية، ومستشعرات النانو، والمعالجة بتقنية النانو للتربة الملوثة .

### 1.8.3 الأسمدة النانوية Nano Fertilizer

خلال العقود الخمسة الماضية، لعبت الزيادة الهائلة في غلة المحاصيل، وخاصة الحبوب، دورًا مهمًا في تلبية الاحتياجات الغذائية في العالم. تعد زيادة استخدام الأسمدة الكيماوية من بين العوامل الرئيسية التي تساهم في زيادة إنتاجية المحاصيل في هذا الصدد، فقد ضاعفت أصناف المحاصيل المستجيبة للأسمدة استخدام الأسمدة الكيماوية. ومع ذلك، فإن استخدام الأسمدة الكيماوية محدود بسبب ضعف كفاءة استخدامها بسبب فقدان الأسمدة (عن طريق التطاير والرش) التي تلوث البيئة وتزيد من تكلفة الإنتاج (منظمة الأغذية والزراعة ). على سبيل المثال، يتم فقدان 50-70٪ من النيتروجين الذي تستخدمه الأسمدة التقليدية في البيئة، لذلك، فإن تطوير استراتيجيات بديلة لضمان الاستخدام المستدام للمغذيات يحظى باهتمام كبير بين المجتمع العلمي .في هذا السياق، يتم استخدام تقنية النانو لتقليل خسائر الهاتف المحمول المغذيات، لتطوير الأسمدة بطيئة الإطلاق، وتحسين إمكانية الوصول إلى المغذيات غير المتوفرة بشكل كاف، الأسمدة النانوية هي مواد نانوية إما أنها مغذيات بحد ذاتها (مغذيات دقيقة أو كبيرة) أو تعمل كناقلات / إضافات (على سبيل المثال عن طريق التركيب مع المعادن) للمغذيات. يمكن أيضًا تطوير الأسمدة النانوية عن طريق تغليف العناصر الغذائية داخل المواد النانوية .تعمل الأسمدة النانوية على تحسين إنتاجية المحاصيل وجودتها بمواد مغذية أعلى استخدام الكفاءة مع تقليل تكلفة الإنتاج وبالتالي المساهمة في الاستدامة الزراعية. تحليل نقدي لمجموعة بيانات من الأسمدة النانوية بواسطة .كشف عن زيادة في الفعالية بمتوسط 18-29٪ باستخدام الأسمدة النانوية مقارنة بالأسمدة التقليدية .كما تم ربط استخدام الأسمدة النانوية الفوسفاتية بزيادة معدل النمو (بنسبة 32٪) وإنتاج البذور (بنسبة 20٪) لفول الصويا (Glycine max L.) مقارنة بتلك المعالجة بالأسمدة التقليدية، تعمل الأسمدة النانوية أيضًا على تحسين التمثيل الغذائي للنبات وامتصاص العناصر الغذائية من خلال المسام النانومترية التي يسهلها الناقلون الجزيئي أو مسام البشرة النانوية. إن إدخال تكنولوجيا النانو في تغذية النبات يسهل تطوير الأسمدة البطيئة / الخاضعة للرقابة التي تعمل

على تحسين كفاءة استخدام الأسمدة وتقليل فقد العناصر الغذائية في البيئة مما يجعلها صديقة للبيئة، تبلغ كفاءة استخدام الأسمدة للأسمدة النيتروجينية التقليدية 30-60٪ ، بينما تُفقد 8-90٪ من الأسمدة الفوسفاتية التقليدية بسبب الترابط الكيميائي في التربة وتصبح غير متاحة للنباتات .من ناحية أخرى، أتاحت المركبات النانوية لليوريا و هيدروكسيباتيت إطلاقًا متحكمًا للنيتروجين، وتطاير أقل NH3 وتوافرًا مستدامًا للفوسفور بعد أربعة أسابيع من الحضانة . بشكل عام، يتم تقليل كمية السماد باستخدام منتجات بطيئة الإطلاق. من الناحية المثالية، يجب أن تكون الأسمدة النانوية قادرة على إطلاق العناصر الغذائية عندما وحيثما تتطلبها النباتات تقييد تحويل الأسمدة الزائدة إلى أشكال غازية أو الارتشاح نحو المصب. يمكن تحقيق ذلك إذا كان إطلاق المغذيات يعتمد على إشارات النبات وهذه الأسمدة الذكية ممكنة من خلال شرح إشارات التواصل بين جذور النبات وميكروبات التربة .تستجيب المواد النانوية التي تحتوي على مغذيات نباتية للعديد من المحفزات الكيميائية أو الفيزيائية التي تشير إلى احتياجات العناصر الغذائية لنمو النبات، قد تشمل هذه المحفزات إنتاج الإيثيلين عن طريق جذور النباتات وتحمض الغلاف الجذور، والتي يتم إطلاقها استجابة لنقص P أو K في التربة قد يؤدي تطبيق الجسيمات النانوية إلى تعديل الجذر الداخلي. يمكن أن تكون المنبهات الداخلية من الجذور لإطلاق المغذيات استجابة لنقص P و / أو N طفرة كبيرة نحو الأسمدة النانوية الخاضعة للرقابة. يتضح من الأدبيات أن NMs المصممة هندسيًا يمكن أن تقلل بشكل كبير من كمية الأسمدة المطبقة، سواء المطبقة من خلال التربة وأوراق الشجر، مما يعزز كفاءتها ويقلل من إطلاقها في البيئة مقارنة بالتركيبات التقليدية، استعرض ودافع عن استخدام الأسمدة التي تدعم النانو وتوقع أن قبولها الاجتماعي كتركيبات نانوية لن يكون له أي مشكلة بالنسبة للهيئات التنظيمية العاملة في العديد من البلدان المتقدمة.

### 2.8.3 مبيدات الآفات النانوية Nano pesticides

يعد استخدام مبيدات الآفات ممارسة منتظمة في الزراعة التجارية، ويعد تطوير مبيدات آفات جديدة وفعالة ومحددة الهدف عملية مستمرة. لذلك، يتم فحص عدد كبير من مبيدات الآفات كل عام مليون .N1 تصل كمية صغيرة جدًا من المبيدات المطبقة (0.1٪) إلى الآفات المستهدفة، بينما تلوث النسبة المتبقية (99.9٪) البيئة.، مما له عواقب وخيمة على السلسلة الغذائية وصحة الإنسان. بالإضافة إلى التأثير على الأنواع غير المستهدفة، أدى وجود مبيدات الآفات في كل مكان في البيئة إلى تطوير مقاومة مبيدات الآفات في الأعشاب والحشرات ومسببات الأمراض، ومع ذلك، من المهم ملاحظة أنه إذا لم تكن هناك مبيدات حشرية في العالم، فإن الخسائر في الأرواح ستتجاوز 1000 عامل لكل روح تفقد بسبب مبيدات الآفات. يبدو أن المبيدات الحيوية تقلل من الآثار الخطرة لمبيدات الآفات

الاصطناعية ولكن استخدامها محدود بسبب كفاءتها البطيئة والمعتمدة على البيئة ضد الآفات. تظهر مبيدات الآفات النانوية إمكانات قابلة للتطبيق للتغلب على هذه القيود. يمكن أن يوفر التدهور البطيء والتحرير المتحكم فيه للمكونات النشطة في وجود NMs المناسبة مكافحة فعالة للآفات على مدى فترة طويلة، لذلك، تعتبر مبيدات الآفات النانوية مهمة للإدارة الفعالة والمستدامة للآفات المختلفة ولديها القدرة على تقليل استخدام المواد الكيميائية الاصطناعية والمخاطر البيئية المرتبطة بها. تتصرف مبيدات الآفات النانوية بشكل مختلف عن مبيدات الآفات التقليدية لزيادة فعاليتها، حيث يمكن نقل الجسيمات النانوية في حالات مذابة وغروانية وهذا النوع من الآلية يكمن وراء سلوك مختلف عن تلك الخاصة بالمذابات التقليدية للجسيمات نفسها .يمكن أن تزيد قابلية ذوبان المكونات النشطة من التنقل والتدهور بفعل الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في التربة. نظرًا لأن مبيدات الآفات القائمة على الجسيمات النانوية تزيد من قابلية الذوبان في الذكاء الاصطناعي، لذلك يُنظر إليها أيضًا تأثير أقل ضررا على البيئة بالمقارنة مع التقليدية مبيدات الآفات. بشكل عام، تحافظ مبيدات الآفات النانوية على الطاقة والمياه حيث يتم استخدامها بكميات أقل وأقل تكرارًا من مبيدات الآفات التقليدية. كما أنها تعزز كفاءة مبيدات الآفات وإنتاجية المحاصيل من خلال زيادة الغلات وانخفاض تكاليف المدخلات عن طريق تقليل النفايات وتكاليف العمالة. ومع ذلك، قد تسبب مبيدات الآفات النانوية مشاكل صحية لأسباب مختلفة وصفتها وكالة حماية البيئة (وكالة حماية البيئة ، الولايات المتحدة الأمريكية) على النحو التالي: 1) امتصاص الجلد لمبيدات الآفات النانوية بسبب صغر حجمها ويمكنها المرور عبر أغشية الخلايا 2) من خلال الاستنشاق لأنها يمكن أن تتعمق في الرئتين وتنتقل إلى الدماغ عن طريق عبور حاجز الدم في الدماغ ، 3) المتانة والإمكانات التفاعلية لبعض NMs تثير مخاوف بيئية ، و (4) ندرة المعرفة لقياس التعرض البيئي للمصابيح الطبيعية المهندسة.هناك أنواع مختلفة من تركيبات مبيدات الآفات النانوية) المواد التكميلية. كشفت دراسة أخرى عن زيادة امتصاص البيرميثرين في الصيغة النانوية مقارنة بالشكل التجاري ضد بعوض المزعجة المصرية. علاوة على ذلك، تم تقليل الآثار الضارة على بكتيريا التربة والنباتات في حالة المبيدات النانوية. ولوحظت نتائج مماثلة باستخدام تركيبات نانوية قائمة على البولي إيثيلين غليكول للكاربوفيوران والأسيبات. انخفاض سمية nano-acephate كما لوحظ وجود كائنات غير مستهدفة مقارنة بالمنتج التجاري للأسيفات .تم اقتراح زيادة الكفاءة بسبب بطء إطلاق المكونات النشطة وليس بسبب زيادة امتصاص المكونات النشطة ذات الصيغة النانوية. أظهر Chlorfenapyr المرتبط بجسيمات السيليكا النانوية نشاط مبيد حشري أعلى بمرتين ضد دودة اللوز القطنية من chlorfenapyr المرتبط بالجسيمات الدقيقة. هذه النتائج واعدة للإطلاق البطيء للمكونات النشطة ضد آفات المحاصيل المختلفة ويمكن أن تكون بمثابة

أدوات فعالة في ممارسات إدارة الآفات في المستقبل في الزراعة. أفادت الدراسات الحديثة عن فعالية مادة السيليكا النانوية في مكافحة الآفات الحشرية لمنتجات الحبوب المخزنة. أيضًا الفعالية المتزايدة واستقرار الزيت العطري لليانسون (Pimpinella anisum) ضد خنفساء الدقيق الأحمر (Tribolium castaneum) وخلص إلى أن مستحلبات النانو يمكن أن تسهم في تقليل استخدام المبيدات الحشرية الاصطناعية الضارة ضد الآفات الحشرية.

## 9.3 أجهزة الاستشعار الحيوية النانوية لأنظمة نباتات التربة

## Nanoscale biosensors for soil plant systems

تشير المستشعرات الحيوية إلى نظام هجين لمحول مستقبلات تستخدم لاستشعار الخصائص الفيزيائية والكيميائية للوسط في وجود عنصر التعرف البيولوجي أو العضوي لاكتشاف التحليلات البيولوجية المحددة الموجودة .المستشعرات النانوية هي الجيل التالي من المستشعرات الحيوية التي تكون أكثر إحكاما ومرتبطة بالعنصر الحساس لاكتشاف التحاليل الانتقائية بتركيز منخفض للغاية من خلال محول طاقة فيزيائية كيميائية. يمكن أن تساعد تقنية Nano-biosensor في الكشف المبكر واتخاذ القرار السريع لتعزيز غلة المحاصيل من خلال الإدارة المناسبة للمياه والأراضي والأسمدة ومبيدات الآفات. نسبة السطح إلى الحجم العالية، حركيات نقل الإلكترون السريعة، الحساسية العالية والثبات مع عمر أطول توفر مزايا تنافسية لمستشعرات النانو على المستشعرات التقليدية ومستشعرات الجيل الأخير .تحتوي المستشعرات النانوية على مواد بحجم النانو تعمل كمستقبل حيوي على محول الطاقة الذي يوفر إشارة لعنصر التعرف لاكتشاف التحليلات المفردة أو المتعددة. الميزات الرائعة لجهاز الاستشعار النانوي هي التخيل والتثبيت والتصغير التي تتكامل المكونات الحيوية لنظام تحويل إلى بنية معقدة لتحسين الأداء التحليلي للمصابيح الطبيعية. تعمل المستشعرات النانوية على أساس آلية الإيقاف / التشغيل، وتكتشف تركيز المادة التحليلية داخل أجزاء لكل تريليون (جزء لكل تريليون) وتحد من المصفوفة التي تم تحليلها بناءً على صياغة النانو، استراتيجية الاستشعار والتطبيقات الخاصة بهم في الكشف عن المواد التحليلية في التربة والمسطحات المائية مذكورة في المادة التكميلية. قد يساعد الكشف المبكر عن ملوثات التربة في تجنب آثارها الضارة. يعد تراكم أيونات المعادن التي يحتمل أن تكون سامة في التربة الصالحة للزراعة والنباتات فوق مستويات العتبة مشكلة عالمية ذات مخاطر صحية خطيرة. يتم اكتشافها باستخدام مستشعرات ضوئية كيميائية بطبيعتها وتستخدم الإشعاعات الكهرومغناطيسية للكشف وربطها بصبغة عضوية ثابتة في العينة يغير الخواص البصرية التي تشير إلى تركيز مادة تحليلية معينة. إن تشتت رامان الفلوري

والسطح المحسن (SERS) هما مستشعران بصريان شائعان يستخدمان جزيئات كبيرة بيولوجية / أكاسيد معدنية مختزلة في بنيتهما للتعرف على أيونات المعادن في مياه الأنهار أو أجسام التربة. يمكن أن يكون تكامل هذه الأنظمة النانوية مع استراتيجية الموائع الدقيقة أو رقائق الورق واعدًا أكثر في نشر تصميم مستشعر النانو المحمول لتطبيقاتها التجارية أو الصناعية في اكتشاف أيونات المعادن من بينها المبيدات الحشرية ، الفوسفات العضوي ، النيونيكوتينويد ، الكربامات والأترازينات هي بعض الفئات السائدة وتبقى بقاياها حتى عند التركيز المنخفض لفترة أطول في التربة بسبب انخفاض التجانس.تم الكشف عن هذه المبيدات باستخدام أجهزة الاستشعار الحيوية النانوية التي تستخدم محولات الطاقة الكهرضغطية مع تفاعل المستضد والأجسام المضادة ، وتثبيط نشاط الإنزيمات ، وخصائص الارتباط للمواد النانوية والأجسام المضادة المحددة. ومع ذلك ، قد تختلف كفاءة هذه المستشعرات الحيوية النانوية وفقًا لحد الكشف والتكلفة العالية التي ينطوي عليها تطوير الأجسام المضادة التي توجد فقط لحوالي 10٪ من 800 مكون نشط من مبيدات الآفات ، وبالتالي قد تحد من استخدامها التجار. لذلك ، يجب أن تكون كفاءة هذه المستشعرات الحيوية ذات البنية النانوية تم تحسينه باستخدام المعالجة المسبقة وأخذ العينات المتعددة. اليوريا هي السماد الأكثر استخدامًا لإنتاج المحاصيل ومصدر النترات والنتريت واليوريز التي تعتبر ملوثات في كل مكان في الماء مما تسبب في زيادة المغذيات التي تشكل آثارًا بيئية. نانوبيوسينسورز هي تستخدم للكشف عن هذه الملوثات في الماء والتربة على أساس فحص الموائع الدقيقة والمعايرة اللونية يمكن أن يوفر الاكتشاف الدقيق والدقيق لهذه المركبات النيتروجينية باستخدام أجهزة الاستشعار الحيوية النانوية تباينًا مكانيًا وزمنيًا للعناصر الغذائية في الحقل لمراقبة تركيزها وتحليل الأسمدة وتطبيقها في الزراعة الدقيقة. يتم استخدام بعض المواد الجديدة ذات الميزات المحسنة للاستجابة السريعة والحساسية والاستقرار وإمكانية التطبيق المتكرر والجزيئات ذات البنية النانوية لمراقبة حالة رطوبة التربة. بعض الأمثلة على المستشعرات النانوية المغطاة بطبقة من السيراميك بمدى مختلف من الحساسية والاستجابة الملفقة عبارة عن أقطاب كهربائية متداخلة Ag \\ Pd وأفلام أكسيد الجرافين .تستغل هذه المستشعرات خصائص النيتروجين والمواد الخزفية عن طريق نقل الأيونات وتركيزات التشتت لأغشية أكسيد الجرافين بالإضافة إلى ذلك، يوجد جهاز استشعار حيوي قائم على NM لتحديد كمية الكربون الكلي في التربة والمواد العضوية وكلوريد الصوديوم والفوسفات والنترات المتبقية في مراحل الطفولة لتحليل التربة، ويقتصر على المعايير المختبرية وحلول المياه .كما تم استخدام تقنية النانو في الأنوف الإلكترونية (الأنوف الإلكترونية) تعتبر أنظمة الذكاء الاصطناعي والجيل القادم من أجهزة الاستشعار. تم تطبيقها بشكل متكرر في الزراعة لرصد عمليات الإنتاج وتقييم أمراض النبات، وتفشي

الحشرات، وملوثات التربة / المياه. على الرغم من أن استخدام التكنولوجيا النانوية قد فتح ثورة جديدة في الزراعة الذكية وقلل من المخاطر المرتبطة بها، إلا أن الاستخدام الواسع للمنتجات الزراعية والغذائية القائمة على المواد النانوية وأجهزة الاستشعار النانوية الأقل احتمالًا قد أثارت مخاوف بشأن صحة الإنسان والبيئة. يحد تعقيد التفاعلات النانوية البيئية من مراقبة سلوكهم في التربة. لذلك، يوصى باتباع نهج شامل لفهم هذه التفاعلات في التربة والنبات والهواء وفي النهاية في السلسلة الغذائية. يمكن للسلطات التنظيمية والتشريعات توفير خرائط الطريق والمبادئ التوجيهية للاستخدام المستدام للمواد النانوية لاكتشاف، والتحقق من صحة وتقليل آثارها السامة في النظام البيئي بأكمله.

### 1.9.3 المواد النانوية لمعالجة التربة Nanomaterials for soil remediation

يصف هذا القسم دور NMs في التأثير على التنقل والتحول والسمية لمختلف الملوثات العضوية وغير العضوية. تستخدم على نطاق واسع في مختلف الاستراتيجيات اللاأحيائية والأحيائية لإزالة الملوثات من التربة الملوثة. يتم تفصيل هذه التقنيات في الأقسام الفرعية التالية.

### 2.9.3 العلاج اللاأحيائي بمساعدة النانو للتربة الملوثة

### Abiotic nano-assisted treatment of contaminated soil

نظرًا لصغر حجم الجسيمات، وارتفاع مساحة السطح والتفاعل الراسخ جيدًا لمقاييسNM ، كان هناك اهتمام متزايد بـاستخدامها لمعالجة التربة الملوثة بشكل رئيسي من خلال الامتصاص أو الاختزال أو الأكسدة الكيميائية نشاط وسمية ملوثات التربة العضوية وغير العضوية تحكمها تفاعلات الامتصاص والامتصاص مع مكونات لذلك، فإن تعديل التربة الملوثة بتعديلات مناسبة يمكن أن يؤثر على تنقل وسمية ملوثات التربة. إنها تشرع من خلال عمليات الامتصاص المختلفة بما في ذلك الامتزاز على الأسطح المعدنية، والتعقيد باستخدام الروابط العضوية، والتبادل الأيوني، والترسيب السطحي .تم تصنيف هذه التعديلات إلى مجموعتين: (1) عوامل التعبئة التي تعزز التنقل والتوافر البيولوجي لملوثات التربة من أجل إزالة محسنة عن طريق غسل التربة وامتصاص النبات، و (2) عوامل التثبيت التي تربط الملوثات في التربة وتقلل من قدرتها على الحركة والتوافر البيولوجي يمنع دخولهم في السلسلة الغذائية. على سبيل المثال، تم تحسين أداء غسل التربة للتربة الملوثة بالمعادن (الزيتية) في وجود nZVI الذي امتص المعدن (الزيت) وتم فصله عن طريق الفصل المغناطيس. .يوفر استرداد الممتزات فرصة لاستعادة الملوثات (لمعالجتها خارج الموقع أو استخدامها كمورد) وإعادة استخدام الممتزات في المعالجة. علاوة على

ذلك، فإن إعادة تدوير NMs لإعادة استخدامها في دورات معالجة أخرى يكتسب اهتمامًا كبيرًا لأنه يمكن أن يقلل من تكلفة العلاج. لذلك، من الصعب للغاية تطوير NMs التي تكون مستقرة ويمكن أن تحافظ على كفاءتها العلاجية لدورات العلاج المتعددة. وتجدر الإشارة، مع ذلك، إلى أنه نادرًا ما تم الإبلاغ عن تجديد المواد الماصة في سياق معالجة التربة الملوثة مقارنةً بتلك الموجودة في مياه الصرف الصحي. في هذا الصدد، توفر الجسيمات النانوية المغناطيسية، بسبب المغناطيسية العالية، فصلًا سريعًا وسهلاً عن وسط التفاعل تحت المجال المغناطيسي السماح بإعادة تدويرها أو تجديدها لمزيد من دورات المعالجة. لذلك، فإن للجسيمات النانوية المغناطيسية العديد من التطبيقات المحتملة في الامتصاص والإزالة التحفيزية للملوثات، على سبيل المثال، أتاح استخدام جزيئات المغنتيت النانوية المعدلة من البولي أكريلاميد في التربة تحكمًا متزامنًا في تآكل التربة (تم تقليله بنسبة 90٪) وترشيح الزرنيخ (82٪ تجميد) اكتسب تثبيت الملوثات في الموقع اهتمامًا كبيرًا مؤخرًا كطريقة فعالة وفعالة من حيث التكلفة لمعالجة التربة الملوثة .تم استكشاف تعديلات مختلفة تستند إلى NMs في الأدبيات لتحديد مادة مناسبة تأخذ في الاعتبار عوامل مختلفة مثل التكلفة والكفاءة والاستقرار والتأثيرات البيئية وإعادة استخدام المواد. أدى استخدام جزيئات النانو هيدروكسيباتيت إلى تجميد المحتويات المعدنية بشكل فعال في الرواسب الملوثة .والتربة عن طريق تقليل جزءها القابل للتبديل مما قلل من تركيزها في المياه المسامية.

### 3.9.3 المعالجة الحيوية بمساعدة النانو للتربة الملوثة

### Nano-assisted bioremediation of contaminated soil

المعالجة البيولوجية هي استراتيجية في الموقع، وطبيعية، وصديقة للبيئة، وفعالة من حيث التكلفة وقابلة للتكيف لإزالة التلوث من الملوثات الضارة (العضوية وغير العضوية). ومع ذلك، قد تكون كفاءتها محدودة بسبب وقت المعالجة الطويل، وسوء توافر الملوثات، وانخفاض كفاءة المعالجة في التربة شديدة التلوث الناتجة عن سمية الملوثات للعوامل البيولوجية (البكتيريا والفطريات والنباتات وما إلى ذلك)، وتشكيل منتجات ثانوية سامة. يوفر استخدام NMs في التكامل مع المعالجة الحيوية حلاً للتغلب على القيود المرتبطة بهذه التكنولوجيا الخضراء. على الرغم من استخدام NMs لإزالة التلوث الكيميائي للمواقع منذ العقدين الماضيين، فإن تكاملها في المعالجة الحيوية يعد مجالًا جديدًا نسبيًا وهو في مرحلة التطوير. يمكن أن يكون النظام المتكامل (النانو الحيوي) بترتيب تسلسلي أو متزامن لمعالجة التربة الملوثة.

### 4.9.3 مصير المواد النانوية في التربة Fate of nanomaterials in soil

يمكن أن تتفاعل الغرويات الطبيعية والكسور العضوية والمعدنية مع نانومتر مما قد يؤدي إلى تقسيمها في المرحلة الصلبة والمائية من نظام التربة. ومع ذلك، تتوفر بيانات محدودة حول مصير وسلوك NMs في نظام التربة حيث تم إجراء معظم الأبحاث في أنظمة المياه. في واقع الأمر، تم استنتاج سلوك NMs في أنظمة التربة في الغالب من الدراسات التي أجريت على معلقات التربة. يصف الشكل 3 العمليات المختلفة المتضمنة في مصير NMs في التربة والتي تتحكم في تفاعلها وتنقلها واستقرارها وسميتها. عند دخول التربة، يمكن أن تخضع الكائنات البحرية الطبيعية لتحولات فيزيائية وكيميائية و / أو بيولوجية اعتمادًا على طبيعتها وتفاعلها مع مكونات التربة المختلفة (العضوية وغير العضوية). التجميع هو العملية الفيزيائية الرئيسية التي تحدث تلقائيًا عندما يتم إدخال NMs في بيئة التربة. يقلل التجمع من المساحة السطحية المتاحة لمصابيح البحر مما يؤثر على تفاعلها. علاوة على ذلك، ستؤدي الزيادة في حجم الركام إلى تقليل حركتها في الوسائط المسامية مما سيؤثر على تفاعل وسلوكNMs ، .(هناك شكلين متميزين للتجميع: التجميع المتماثل بين نفس NMsوالتجمع غير المتجانسة بين NMs وجسيم آخر في البيئة (التجميع غير المتجانسة على سبيل المثال، الغرويات الطبيعية، عادة ما يكون التجميع غير المتجانسة أكثر أهمية من التجميع المتماثل لأن التركيز الأعلى للجسيمات البيئية من NMs من شأنه أن يفضل التجميع غير المتجانسة خاصة في منطقة الأس الهيدروجيني بين PZCs للغرواني الطبيعي وNMs ،إن غياب التنافر الإلكتروستاتيكي في منطقة الأس الهيدروجيني هذه والشحنات السطحية المعاكسة لـ NMs والغرويات الطبيعية يفضل التجميع غير المتجانس[207] .

## 10.3 تطبيق المواد النانوية في معالجة المياه

## Application of nanomaterials in water treatment

تعتبر معالجة المياه العادمة - الملوثة بالأيونات المعدنية والنويدات المشعة والمركبات العضوية وغير العضوية والبكتيريا المسببة للأمراض والفيروسات - ضرورية لحياة الإنسان الصحية. بسبب فترات الجفاف الممتدة والنمو السكاني، ومؤخراً جداً، الأنظمة الصحية الأكثر صرامة، تم تكثيف هذا الاندفاع من خلال زيادة الطلب على المياه النظيفة. قد تكون تنقية المياه من بين أكثر التطبيقات البيئية تطوراً للمواد النانوية. تعد الابتكارات في تطوير تقنيات جديدة لتحلية المياه من بين أكثر المساعي إثارة واعدة. عادة ما تتضمن معالجة المياه الامتزاز أو التحفيز الضوئي للملوثات وتقليلها بواسطة الجسيمات النانوية (NPs) والمعالجة الحيوية. المعالجة هي عملية تحويل الملوثات من سامة إلى أقل سمية في الماء

والتربة. يمكن تحسين جودة المياه بشكل كبير باستخدام خواص النانو والمحفزات النانوية والنشطات الحيوية النشطة بيولوجيًا. إلى جانب ذلك، تعتبر الأغشية الحفزية ذات البنية النانوية والترشيح المعزز بالنيتروجين من المنتجات المثيرة للاهتمام المشتقة من تكنولوجيا النانو. إستراتيجيات جديدة لتنقية المياه مثل المحسن المتشقق الترشيح الفائق موضع ترحيب دائمًا؛ المواد النانوية واعدة للغاية في هذا الصدد. على سبيل المثال، تم إثبات أن ألياف الكربون المنشط ذات المسام النانوية بمتوسط حجم مسام يبلغ 1.16 نانومتر تمتص البنزين والتولوين والزيلين والإيثيل بنزين. علاوة على ذلك، بعض المواد النانوية تمتلك خصائص ذاتية مضادة للجراثيم. واحدة من أكثر الميزات إثارة للاهتمام للمواد النانوية وخاصة NPs هي أن مساحة سطحها أكبر من المواد السائبة. قد يكون تشغيل المواد النانوية مع العديد من المجموعات الكيميائية ميزة إضافية تساهم في خصوصية الهدف لهذه المواد. تقنيات معالجة المياه التقليدية بما في ذلك التناضح العكسي والتقطير والرمل الحيوي والتخثر والتلبد والترشيح غير قادرة على إزالة جميع أيونات المعادن الثقيلة. لذلك، هناك حاجة إلى طرق وأغشية أكثر قوة لاستخدامها في تنقية المياه. يمكن استخدام المواد النانوية لمعالجة المياه غير العضوية الملوثة، وصبغ مياه الصرف الصحي، ومياه الصرف الصحي لصناعة الورق، ومبيدات الآفات. مياه الصرف الصحي والمياه العادمة الزيتية. بأبسط طريقة، تقوم المواد الماصة بإزالة الملوثات من المياه الملوثة وبالتالي تستخدم على نطاق واسع كوسيط فصل. علاوة على ذلك، تمتلك بعض المواد النانوية قدرات اختزالية ممتازة ويمكن بالتالي استخدامها لجعل الملوثات السامة أقل سمية. أحد الأمثلة الجيدة هو الحديد عديم التكافؤ الذي يحتوي على استخدامه على نطاق واسع لتقليل الملوثات العضوية في المياه الملوثة في الموقع أو فوق سطح الأرض. الميزة الإضافية للحديد عديم التكافؤ هو أنه عند التطبيق البيئي، فإنه لا ينتج منتجات ثانوية وسيطة يتم ملاحظتها عادةً عند استخدام مساحيق الحديد التجارية. تم اقتراح ستة خصائص رئيسية للمواد النانوية للتمييز في الدراسات البيئية: الحجم، الذوبان، مساحة السطح، شحنة السطح والتركيب الكيميائي للسطح. قد تكون المعلومات المتعلقة بتوزيع الحجم، والبنية البلورية، والتشكل، والتكتل التشتت، وما إلى ذلك، على سبيل المثال، تمتلك أكاسيد المعادن ذات الهياكل الهرمية مساحة سطح عالية بالإضافة إلى نسبة سطح إلى كتلة عالية، وبالتالي المزيد من المجموعات الوظيفية السطحية التي تجعلها مرشحة بشكل أفضل لإزالة أيونات المعادن الثقيلة مثل As (V) و Cr (السادس). أن الأنيونات العضوية البسيطة يمكن تؤثر ببساطة على درجة التحول الذاتي الكيميائي للجسيمات غير المتبلورة إلى أصداف بلورية، وتجميعها الذاتي اللاحق في بنى معقدة ذات رتبة أعلى. يمكن معالجة التبلور، ومساحة السطح المحددة، والبنية المسامية للنواة / القشرة المجوفة من البوهمايت والكرات المجهرية المجوفة التي تم تحضيرها في

هذه الدراسة عن طريق تغيير تركيز طرطرات الصوديوم وتغيير وقت التفاعل. أثرت هذه الميزات بشكل كبير على قدرة امتصاص الكرات المجهرية لأحمر الكونغو والفينول في محلول مائي. يمكن تحسين قدرة امتصاص الكرات المجهرية البوهيميت جزئيًا عن طريق زيادة تركيز طرطرات الصوديوم. وبالمثل، تم إثبات أن γ-AlOOH جديدة مُجمَّعة ذاتيًا، أحادية التشتت، شبيهة بالزهور ذات بنية هرمية فائقة، تمتلك مساحة كبيرة من Brunauer و Emmett و Teller (BET) تبلغ 145.5 مترًا مربعًا دولارًا للجرام -1 ولإزالة الرصاص بسرعة ( (II) وأيونات الزئبق (II) من المحاليل المائية . بشكل عام، تمتلك المواد المثالية لإزالة أيونات المعادن الثقيلة بعض الخصائص المحددة: فهي غير مكلفة؛ لديهم قدرة مميزة على امتصاص المعادن الثقيلة وكذلك القدرة على تحويل أيونات التكافؤ العالية إلى أيونات تكافؤ منخفضة أو صفر تكافؤ لتقليل تسمم. تتضمن أمثلة المواد التي تلبي هذه المتطلبات أكاسيد الحديد النانوي والسيليكات والزيوليت المسامية. في مقالة المراجعة هذه، ركزنا بشكل أساسي على تطبيق المواد النانوية مثل المعادن التي تحتوي على NPs، والمواد النانوية التيتانيا ، والمواد النانوية الكربونية (على سبيل المثال ، الأنابيب النانوية الكربونية). (الأنابيب النانوية الكربونية)) والمواد المتشعبة والمواد النانوية الفضية في تنقية المياه.

### 1.10.3 اسباب تلوث المياه Causes of water pollution

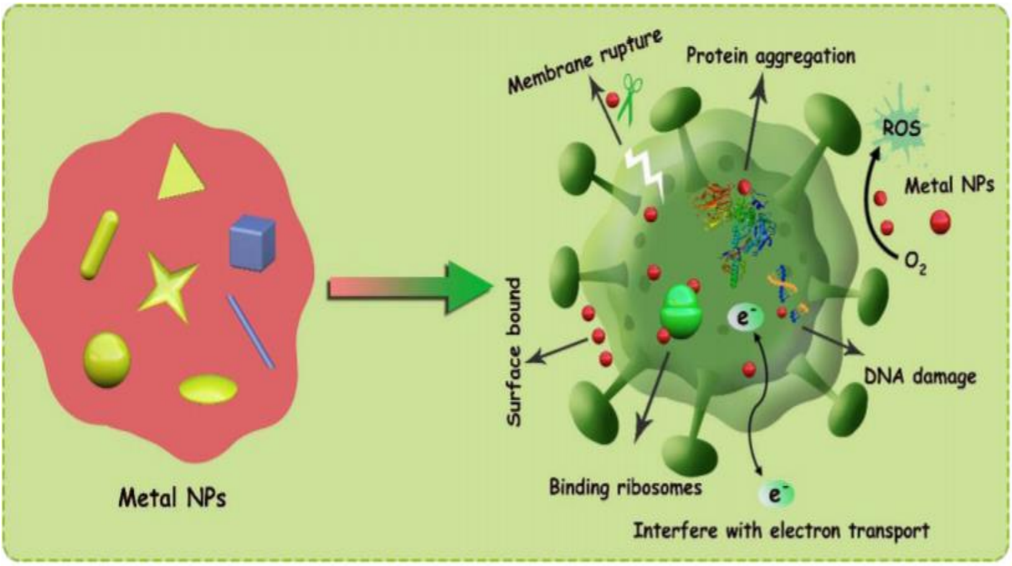
تغير المناخ والنمو السكاني والوعي البيئي المحدود يحد بشكل فَعال من إدارة الموارد المائية في العراق. بالإضافة إلى تدمير البنية التحتية الحيوية، نتيجة الصراع، ونقص أدت الاستثمارات الرأسمالية إلى حرمان العديد من العراقيين من الوصول إلى مياه الشرب ومرافق الصرف الصحي الأساسية. وفقًا لتقرير اليونيسف لعام 2012، يحصل 91 في المائة من السكان على مياه الشرب مع وجود اختلافات كبيرة بين المحافظات وبين المناطق الحضرية والريفية. على سبيل المثال، في المناطق الريفية،77 في المائة فقط من السكان لديهم إمكانية الوصول إلى مصادر مياه الشرب المحسنة مقارنة بـ 98 في المائة في المناطق الحضرية. علاوة على ذلك، لا يستخدم 6.2 في المائة من السكان مرافق صرف صحي محسنة. مياه الشرب السيئة والصرف الصحي من مخاطر الأمراض المنقولة بالمياه خاصة بين الفئات الضعيفة مثل الأطفال و النساء [208]يتم إستخدام الماء عمليا في كل المهام والإجراءات البشرية الحيوية. إنه مكون حيوي في كل من الأغراض المنزلية والميكانيكية والصناعية. ومع ذلك، فإن التحقيق من الماء اليوم، يعطينا نتيجة غير جيدة. من مصادر تلوث المياه 1. الصرف الصحي المحلي 2. المبيدات والأسمدة 3. النفايات المتدفقة من العبوات البلاستيكية المنجرفة 4. مخلفات المصانع والمجاري، حيث تحولت مصادرنا

المائية إلى بركة من السموم. ومن ثم فإن سوء التعامل مع البحيرات والبحار والأنهار والمستودعات وما إلى ذلك يؤدي الى تلوث المياه. [209,210] تقنية النانو هي علم ناشئ له تطبيقات واسعة في معالجة الملوثات البيئية. تقدم التطورات في العلوم والهندسة على نطاق النانو فرصًا غير مسبوقة لتطوير عمليات تنقية مياه أكثر فعالية من حيث التكلفة ومقبولة بيئيًا. في السنوات الأخيرة، تم تركيز قدر كبير من الاهتمام على تصنيع واستخدام المواد ذات البنية النانوية كمواد ماصة لإزالة المركبات السامة والضارة من المياه ومياه الصرف. نظرًا لحيوية جودة المياه وزيادة تطبيقات تكنولوجيا النانو، فقد بذلت جهود للحديث عن أجزاء مختلفة من معالجة المياه عن طريق الامتزاز باستخدام مواد ماصة نانوية. [211]يمكن استخدام المواد النانوية كعوامل مضادة للجراثيم أثناء معالجة مياه الصرف الصحي [212].

## 2.10.1 تأثير المواد النانوية على البكتريا الموجودة في الماء

## Effect of nanomaterials on bacteria in water

توجد البكتيريا المسببة للأمراض على نطاق واسع في البيئة، مع خصائص تنوعها، وتنتشر بسرعة ويسهل إحداث ردود فعل سلبية. تعد العدوى التي يسببها غزو البكتيريا لجسم الإنسان أحد التهديدات الخطيرة للأمراض التي تصيب الإنسان مثل الالتهاب الرئوي والتهاب المعدة. منذ اختراع البنسلين، قدمت المضادات الحيوية مساهمات هائلة لمحاربة مسببات الأمراض المختلفة. ومع ذلك، مع تعاطي المضادات الحيوية، يتعين على البكتيريا إحداث طفرات في المضادات الحيوية وتطوير المقاومة، مما يؤدي إلى ظهور عدد كبير من السلالات المقاومة للأدوية، مما يقلل بشكل كبير من الفعالية العلاجية للمضادات الحيوية. من الواضح أنه من الضروري بشكل أساسي استكشاف استراتيجيات جديدة لمضادات الميكروبات لمحاربة العدوى البكتيرية. استنادًا إلى الأداء الاستثنائي المضاد للبكتيريا ومساحة السطح المحددة العالية، كانت المواد النانوية تسبب قلقًا على نطاق واسع من قبل الباحثين في جميع أنحاء العالم باعتبارها أكثر المواد الواعدة المضادة للميكروبات، ولا يمكن للبكتيريا تطوير مقاومة بسبب الآلية المعقدة المضادة للبكتيريا للمواد النانوية[213]. فرع من المواد النانوية، المواد النانوية المعدنية ذات الأنشطة المغناطيسية والكهربائية والحرارية الضوئية وغيرها من الأنشطة الفيزيائية والكيميائية الممتازة، كنوع من المواد الحديثة، تم استخدامها كعوامل محتملة لمضادات الميكروبات. لتحميل الأدوية المضادة للميكروبات[214]، يمكن أيضًا استخدام المواد النانوية المعدنية للكشف عن العدوى البكتيرية وعلاجها. تعتمد الخصائص المضادة للبكتيريا للمواد النانوية المعدنية بشدة على حجم وشكل وتركيب هياكلها[215]. كما مبين في شكل (14.3)




**الشكل (14.3) رسم تخطيطي للآلية المضادة للبكتيريا للجسيمات النانوية المعدنية** [216]

## 3.10.3 تطبيقات المواد النانوية في الأغشية

## Applications of nanomaterials in membranes

تلعب الأغشية أدوارًا مهمة في تصنيع أجهزة تنقية المياه ومعالجتها. يمكن أن تسهم الأغشية التفاعلية أيضًا في إبطال نشاط البكتيريا المسببة للأمراض والفيروسات ومسببات الأمراض المحتملة الأخرى. مع مصطلح "تكنولوجيا النانو" ، توجد بعض الخلافات والتناقضات. كما هو محدد من قبل الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية (IUPAC) ، يشير مصطلح "نانو" في الترشيح النانوي إلى حجم الجسيمات التي تمت تصفيتها ، ومع ذلك ، في بعض الأحيان يتم الخلط بينه وبين البنية النانوية المستخدمة في الغشاء. يمكن تصنيف بعض الأغشية بالتأكيد في كل من تقنية الأغشية وتقنية النانو مثل الأغشية الوظيفية NP ، لكن هذه الأنظمة والأغشية لا يمكن اعتبارها مواد ذات بنية نانوية [88]. قام الباحثون بدمج أكسيد المعادن NPs أو الأنابيب النانوية الكربونية لتحسين خصائص النفاذية ومقاومة القاذورات وجودة النفاذية في هذه الأغشية. على سبيل المثال، تُظهر أغشية الترشيح الفائق الألومينا المُصنَّعة من الألومينا NPs بحجم 7-25 نانومتر انتقائية تجاه الأصباغ الاصطناعية مثل Direct Red 81 و Direct Blue 71 وDirect Yellow 71. الألومينا NPs مع Fe و Mn و .La الخصائص التحفيزية لبعض NPS أكسيد الفلز خاصة(TiO2) ، تمكن الغشاء من الجمع بين الوظيفة المؤكسدة واستبعاد الحجم. تسهل الأكسدة الكيميائية تحلل المركبات العضوية وتحسن جودة النفاذية. كما لوحظ سابقًا، تم

بالفعل إثبات تعطيل البكتيريا والفيروسات عند ملامستها للمواد النانوية القائمة على الكربون. علاوة على ذلك، يمكن أن تؤدي تطبيقات المواد التي تعتمد على الكربون مثل الأنابيب النانوية الكربونية والفوليرين في بنية الأغشية إلى مسامية أكثر ملاءمة. أحد المجالات المهمة التي يجب معالجتها من قبل المجتمع العلمي هو دمج الأغشية ذات البنية النانوية الجديدة والأغشية التفاعلية [217]

### 4.10.3 سمية المواد النانوية Toxicity of nanomaterials

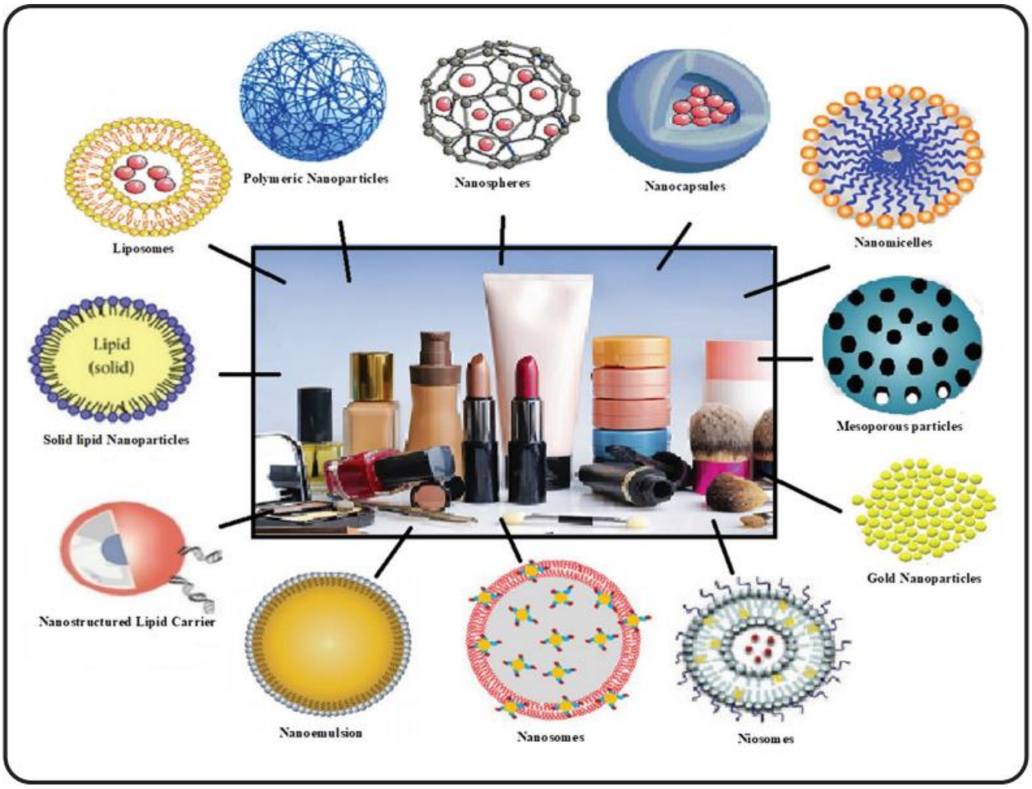
هناك تطورات في مجال تكنولوجيا النانو مع ظهور تطبيقات جديدة ومتنوعة للجسيمات النانوية (NPs) كل يوم. ومع ذلك، هناك بيانات محدودة حول سمية الجسيمات النانوية ومصيرها في النظم البيولوجية[218]. في حين أن حجم الجسيمات وشكلها ومساحة السطح وكيمياء السطح تحدد مجتمعة سمية الجسيمات النانوية. من المرجح أن تؤدي زيادة الإنتاج والتعرض المتعمد (الواقيات من الشمس، توصيل الأدوية) أو التعرض غير المتعمد (البيئي، المهني) للجسيمات النانوية إلى زيادة احتمالات آثارها السلبية على الصحة[219]. من المهم للغاية أن يتم وصف المواد النانوية الجديدة بيولوجيًا لمخاطرها الصحية لضمان التنفيذ الخالي من المخاطر والمستدام لتقنية النانو تمتلك المواد النانوية مخاطر محتملة لتعرض الإنسان والبيئة للجسيمات النانوية طوال دورة حياتها، بدءًا من التصنيع وحتى التخلص منها. قد يؤدي الانسكاب العرضي أو التصريف المسموح به للنفايات الصناعية السائلة في المجاري المائية والأنظمة المائية إلى التعرض المباشر للجسيمات النانوية من البشر عن طريق ملامسة الجلد، واستنشاق رذاذ الماء، والابتلاع المباشر لمياه الشرب الملوثة أو الجزيئات الممتصة على الخضروات أو المواد الغذائية الأخرى.[220] .

## 11.3 تطبيق المواد النانوية في مستحضرات التجميل

## Application of nanomaterials in cosmetics

إنه مجال مشترك للكيمياء والفيزياء والإلكترونيات وعلم الأحياء وعلوم وهندسة المواد. تقنية النانو هي المنطقة الأسرع نموًا للحفاظ على صحة الجلد وكذلك لإدارة الأمراض الجلدية. في الواقع، علم الأشياء الصغيرة جدًا هو تقنية النانو. يمكن أن تختلف الجسيمات النانوية، أي الجسيمات التي يتراوح حجمها بين 1 نانومتر إلى 100 نانومتر، اختلافًا كبيرًا الخصائص من نفس المواد في الأشكال الأكبر لأن مساحة سطحها أكبر نسبيًا إلى نسبة الكتلة، وبالتالي قد تتلامس ذرات أكثر على السطح. يتم تطبيق تقنية النانو لتصنيع المواد، والرقائق الإلكترونية، للتشخيص الطبي والرعاية الصحية، والتكنولوجيا الحيوية، والفضاء والتنقيب، المنسوجات، المعدات الرياضية، إلخ. تستخدم الجسيمات النانوية على نطاق واسع

بسبب خصائصها المرغوبة في المجالات الصناعية والطبية والتجميلية. مستحضرات التجميل في أي مادة أو خليط يراد ملامسته للأجزاء الخارجية من جسم الإنسان. على مدى عقود، واصل العلماء إنتاج الجسيمات النانوية لتعزيز التوافر البيولوجي واستقرار الأدوية والمستحضرات التجميلية. نظرًا لأحجام الجسيمات الصغيرة المتلاشية، فإن ما يسمى بـ "الأدوية النانوية" تمتلك معدلات انحلال أعلى بكثير من نظائرها الكبيرة. هذه الخاصية مرغوبة بشكل خاص عندما يعاني الجزيء الموجود من ضعف قابلية الذوبان في الماء. في السنوات الأخيرة، عمل مصنعو الأدوية ومستحضرات التجميل على تطوير مركبات توصيل الأدوية التي تُستخدم للتغلب على العديد من التحديات المتعلقة بالاستقرار والتسليم المستهدف والتوافر البيولوجي.




**الشكل (15.3) العديد من المواد النانوية / المواد النانوية المستخدمة في مستحضرات التجميل.**

### 1.11.3 المرطبات التجميلية Cosmetic Moisturizers

هذه هي الاستخدامات المستخدمة في إدارة الجلد المختلفة الاضطرابات مثل، التهاب الجلد التأتبي، الصدفية، الجفاف، إلخ. العيب الرئيسي لهذه المرطبات التقليدية موجود عدم القدرة على توصيل المكونات بشكل كافٍ مثل السيراميد إلى الموقع النشط. يتم استخدامها خارجيا على الجلد. نظرًا لأن آثارها العلاجية طويلة الأمد، فإن المستحلبات النانوية و SLNs والجسيمات الشحمية تستخدم على نطاق واسع لصنع المرطبات. تحتوي مستحلبات النانو على مادة داخلية محبة للدهون مما يجعلها لهم نظام توصيل جيد لنقل المواد الكارهة للماء المواد في البيئات المائية. يجري هذا الأسلوب المستخدمة في حمض جاما أمينو بوتيل (GABA)، وهو ناقل عصبي مثبط مع خصائص استرخاء العضلات، كتركيبة مضادة للشيخوخة لتقليل التجاعيد.

### 2.11.3 العلاج بالضوء Phototherapy

العلاج بالضوء هو نوع من العلاج الطبي الذي يتضمن التعرض لمصابيح الفلورسنت أو مصادر الضوء الأخرى مثل مصابيح الهالوجين وضوء الشمس والصمامات الثنائية الباعثة للضوء (المصابيح) لعلاج بعض الحالات الطبية، فقد تم استخدام استهداف الميلانوسومات بنبضات الليزر القصيرة في الأمراض الجلدية لعلاج اضطرابات فرط تصبغ الجلد مثل الكلف. تتم دراسة الاتحادات المناعية لجسيمات الذهب النانوية وجسيمات أكسيد الحديد الدقيقة كممتصات للضوء لاستهداف خلية محددة. عندما يتم إنشاء نبضة ليزر، تمتص هذه الجسيمات الضوء وتحرر هذه الطاقة الممتصة في شكل إشعاع مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الأنسجة مما يؤدي إلى تمزق الأنسجة المجهري وتلف الخلايا، ومن مجالات التطبيق الأخرى العلاج الحراري الضوئي (PTT). أنه ينطوي على استخدام الجسيمات النانوية الذهبية المهتزة لمنع نمو الخلايا السرطانية. يظهر استخدام الجسيمات النانوية أيضًا في العلاج الضوئي الديناميكي الذي تعتمد آليته على مبدأ التنشيط البصري لمُحسِس ضوئي يؤدي إلى توليد تدرجات نسيجية خالية من الأكسجين تتسبب في تلف الأنسجة المحلية مثل الخلايا السرطانية.

### 3.11.3 مطهرات (المنظفات النانوية) Disinfectants (Nano-detergents)

المطهرات هي مواد مضادة للميكروبات يتم وضعها على الأنسجة الحية / الجلد لتقليل احتمالية الإصابة بالعدوى أو الإنتان. تم إدخال الجسيمات النانوية في مجال المطهرات، حيث تم استخدام مواد مختلفة كمطهرات في تركيبات نانوية مثل غلوكونات الكلورهيكسيدين، $TiO_2$ العاري، الفضة، إلخ. من جدار المحفظة.

### 4.11.3 مستحضرات التجميل cosmetic

أحمر الشفاه هو منتج تجميلي يحتوي على أصباغ وزيوت وشمع ومرطبات تضع اللون والملمس والحماية على الشفاه. يحافظ أحمر الشفاه وملمع الشفاه على أساس الجسيمات النانوية على الشفاه ناعمة ونضرة عن طريق منع فقدان الماء عبر البشرة. على سبيل المثال تعطي جزيئات السيليكا النانوية توزيعًا متجانسًا للصبغة في التركيبة التي تمنع انتقال الصبغة إلى الخطوط الدقيقة للشفاه، مما يعطي مظهرًا تجميليًا أفضل.

### 5.11.3 علاج تركيبات الشعر بالمواد النانوية

### Treatment of hair structures with nanomaterials

تعد تركيبات الجسيمات النانوية أفضل من التركيبات القائمة على الماء والكحول في علاج اضطرابات الشعر مثل الثعلبة البقعية والثعلبة الأندروجينية. تتمتع أدوية نمو الشعر المغلفة بفترة أطول من 2.0 إلى 2.5 مرة في مناطق بصيلات الشعر مقارنة بالمحاليل المائية. على سبيل المثال المينوكسيديل المغلف في 40-130 نانومتر من جسيمات نانوية بولي إيثيلين جلايكول أظهرت تحسنًا في الثبات في منطقة بصيلات الشعر.

### 6.11.3 استخدام النانو في معاجين الاسنان

### The use of nanoparticles in toothpastes

باستخدام تقنية النانو في معاجين الأسنان، فهي مفيدة جدًا في منع تلف مينا الأسنان. هيدروكسيباتيت هو عنصر أساسي في مينا الأسنان مثل بلورات النانو. وهو أيضًا المكون الرئيسي للعظام والأسنان. يستخدم شكل النانو من هيدروكسيباتيت في معجون الأسنان الذي يشكل طبقة واقية حول مينا الأسنان وحتى يعيد السطح في المناطق التالفة كما أنه يقلل من الألم. هذا هو أول معجون أسنان في العالم يعيد تشكيله.

### 7.11.3 استخدام المواد النانوية في تركيبات الأظافر

### The use of nanomaterials in nail formulations

يجري تطوير مستحضرات التجميل القائمة على النانو للعناية بالأظافر. تعمل دهانات الأظافر التي تعتمد على الجسيمات النانوية على تحسين صلابة ومقاومة الأظافر. لها العديد من المزايا مثل التجفيف إلى حالة صعبة للغاية، ومقاومة التقطيع والتشقق والخدش. يمكن استخدامه أيضًا لغرض علاجي لعلاج فطار الأظافر.

# المصادر


[1] M. Self-assembly, INTRODUCTION TO NANOTECHNOLOGY Jelena Manojlovi ć, 17 (2018) 105–116.

[2] Y.C. Lee, J.Y. Moon, Introduction to bionanotechnology, 2020. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1293-3.

[3] K.K. Kesari, Perspectives in environmental toxicology, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46248-6.

[4] K.K. Kesari, Perspectives in environmental toxicology, Environ. Sci. Eng. (Subseries Environ. Sci. (2017) iii–iv. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46248-6.

[5] A. Gnach, T. Lipinski, A. Bednarkiewicz, J. Rybka, J.A. Capobianco, Upconverting nanoparticles: Assessing the toxicity, Chem. Soc. Rev. 44 (2015) 1561–1584. https://doi.org/10.1039/c4cs00177j.

[6] J. Manojlović, Introduction To Nanotechnology and Molecular Self-Assembly, Facta Univ. Ser. Autom. Control Robot. 17 (2018) 105.

https://doi.org/10.22190/fuacr1802105m.

[7] A. Nouailhat, An introduction to nanoscience and nanotechnology, An Introd. to Nanosci. Nanotechnol. (2010) 1–206. https://doi.org/10.1002/9780470610954.

[8] S. Bhosale, Development of Ag / CoFe2O4 / FTO Thin Film Memristive Device Using Spray Pyrolysis Technique " Development of Ag / CoFe 2 O 4 Thin Film Memristive Device Using Spray Pyrolysis Technique . " A Project Report Submitted To For the Partial Fulfillment of Deg, (2018). https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17110.55367.

[9] L.E. Friedersdorf, Q.A. Spadola, Introduction to Nanotechnology, في: 2020: ص.ص. 1–14. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19951-7_1.

[10] S. Ahmed, M. Ahmad, B.L. Swami, S. Ikram, A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: A green expertise, J. Adv. Res. 7 (2016) 17–28. https://doi.org/10.1016/j.jare.2015.02.007.

[11] S. Bayda, M. Adeel, T. Tuccinardi, M. Cordani, F. Rizzolio, The history of nanoscience and nanotechnology: From chemical-physical applications to nanomedicine, Molecules. 25 (2020) 1–15. https://doi.org/10.3390/molecules25010112.

[12] A.P. Nikalje, Nanotechnology and its Applications in Medicine Nanotechnology and its Applications in Medicine, (2015). https://doi.org/10.4172/2161-0444.1000247.

[13] L.H. Madkour, Introduction to Nanotechnology (NT) and Nanomaterials (NMs), 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21621-4_1.

[14] T.V. Analysis, AN OVERVIEW OF What is Vulnerability ?, Heal. Without Borders. (2017) 1–9. http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-52446-7_2.

[15] G.A. Ozin, L. Cademartiri, Nanochemistry: What is next?, Small. 5 (2009) 1240–1244. https://doi.org/10.1002/smll.200900113.

[16] E. Catalano, The nanophysics age and its new perspectives,.

[17] S. Cheeseman, A.J. Christofferson, R. Kariuki, D. Cozzolino, T. Daeneke, R.J. Crawford, V.K. Truong, J. Chapman, A. Elbourne, Antimicrobial Metal Nanomaterials: From Passive to Stimuli-Activated Applications, Adv. Sci. 7 (2020). https://doi.org/10.1002/advs.201902913.

[18] M. Hohenschutz, I. Grillo, O. Diat, P. Bauduin, How Nano-Ions Act Like Ionic Surfactants, Angew. Chemie - Int. Ed. 59 (2020) 8084–8088. https://doi.org/10.1002/anie.201916193.

[19] M.S. Chavali, M.P. Nikolova, Metal oxide nanoparticles and their applications in nanotechnology, SN Appl. Sci. 1 (2019) 1–30. https://doi.org/10.1007/s42452-019-0592-3.

[20] H.J. Qiu, L. Liu, Y.P. Mu, H.J. Zhang, Y. Wang, Designed synthesis of cobalt-oxide-based nanomaterials for superior electrochemical energy storage devices, Nano Res. 8 (2015) 321–339. https://doi.org/10.1007/s12274-014-0589-6.

[21] M.R.S.A. Janjua, Synthesis of Co3O4 Nano Aggregates by Co-precipitation Method and its Catalytic and Fuel Additive Applications, Open Chem. 17 (2019) 865–873. https://doi.org/10.1515/chem-2019-0100.

[22] R. Fang, M. Liu, L. Jiang, Progress of binary cooperative complementary interfacial nanomaterials, Nano Today. 24 (2019) 48–80. https://doi.org/10.1016/j.nantod.2018.12.007.

[23] M. Rizwan, A. Shoukat, A. Ayub, B. Razzaq, M.B. Tahir, Types and classification of nanomaterials, Nanomater. Synth. Charact. Hazards Saf. (2021) 31–54. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-823823-3.00001-x.

[24] J. Jeevanandam, A. Barhoum, Y.S. Chan, A. Dufresne, M.K. Danquah, Review on nanoparticles and nanostructured materials : history , sources , toxicity and regulations, (د.ت) 1074–1050. https://doi.org/10.3762/bjnano.9.98.

[25] F. Zhou, H.N. Tien, Q. Dong, W.L. Xu, B. Sengupta, S. Zha, J. Jiang, D. Behera, S. Li, M. Yu, Novel carbon-based separation membranes composed of integrated zero- A nd one-dimensional nanomaterials, J. Mater. Chem. A. 8 (2020) 1084–1090. https://doi.org/10.1039/c9ta12847f.

[26] J.N. Tiwari, R.N. Tiwari, K.S. Kim, Zero-dimensional, one-dimensional, two-dimensional and three-dimensional nanostructured materials for advanced electrochemical energy devices, Prog. Mater. Sci. 57 (2012) 724–803. https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2011.08.003.

[27] J.K. Pious, M.L. Lekshmi, C. Muthu, R.B. Rakhi, V.C. Nair, Zero-Dimensional Methylammonium Bismuth Iodide-Based Lead-Free Perovskite Capacitor, ACS Omega. 2 (2017) 5798–5802. https://doi.org/10.1021/acsomega.7b00973.

[28] J.K. Pious, M.L. Lekshmi, C. Muthu, R.B. Rakhi, V.C. Nair, Zero-Dimensional Methylammonium Bismuth Iodide-Based Lead-Free Perovskite Capacitor, ACS Omega. 2

(2017) 5798–5802. https://doi.org/10.1021/acsomega.7b00973.

[29] J.N. Tiwari, R.N. Tiwari, K.S. Kim, Zero-dimensional, one-dimensional, two-dimensional and three-dimensional nanostructured materials for advanced electrochemical energy devices, Prog. Mater. Sci. 57 (2012) 724–803. https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2011.08.003.

[30] P.K. Panda, A. Grigoriev, Y.K. Mishra, R. Ahuja, Progress in supercapacitors: Roles of two dimensional nanotubular materials, Nanoscale Adv. 2 (2020) 70–108. https://doi.org/10.1039/c9na00307j.

[31] Andreas Öchsner, L.F.M. da Silva, H. Altenbach, Advanced Structured Materials EMR/ESR/EPR Spectroscopy for Characterization of Nanomaterials, 2017.

[32] M. Rafique, M.B. Tahir, M.S. Rafique, N. Safdar, R. Tahir, Nanostructure materials and their classification by dimensionality, Elsevier Inc., 2020. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821192-2.00002-4.

[33] S. Tiwari, C.S. Wei, M.F. Mubarak, Sustainable procurement: A critical analysis of the research trend in supply chain management journals, Int. J. Bus. Perform. Supply Chain Model. 10 (2019) 266–282. https://doi.org/10.1504/IJBPSCM.2019.100855.

[34] D. Approach, Nanomaterials and Biomedicine, 2020. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5274-8.

[35] I. Khan, K. Saeed, I. Khan, Nanoparticles: Properties, applications and toxicities, Arab. J. Chem. 12 (2019) 908–931. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.05.011.

[36] S.P. Patil, V. V. Burungale, Physical and chemical properties of nanomaterials, في: Nanomedicines for Breast Cancer Theranostics, Elsevier, 2020: ص.ص. 17–31. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-820016-2.00002-1.

[37] A.B. Asha, R. Narain, Nanomaterials properties, Elsevier Inc., 2020. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816806-6.00015-7.

[38] P. Kumbhakar, S.S. Ray, A.L. Stepanov, Optical properties of nanoparticles and nanocomposites, J. Nanomater. 2014 (2014) 2–4. https://doi.org/10.1155/2014/181365.

[39] W. Lu, J. Zhang, Y.S. Li, Q. Chen, X. Wang, A. Hassanien, L. Chen, Contactless characterization of electronic properties of nanomaterials using dielectric force microscopy, J. Phys. Chem. C. 116 (2012) 7158–7163. https://doi.org/10.1021/jp300731p.

[40] K. Jagiello, B. Chomicz, A. Avramopoulos, A. Gajewicz, A. Mikolajczyk, P. Bonifassi, M.G. Papadopoulos, J. Leszczynski, T. Puzyn, Size-dependent electronic properties of nanomaterials: How this novel class of nanodescriptors supposed to be calculated?, Struct. Chem. 28 (2017) 635–643. https://doi.org/10.1007/s11224-016-0838-2.

[41] D.H.K. Reddy, W. Wei, L. Shuo, M.H. Song, Y.S. Yun, Fabrication of Stable and Regenerable Amine Functionalized Magnetic Nanoparticles as a Potential Material for Pt(IV) Recovery from Acidic Solutions, ACS Appl. Mater. Interfaces. 9 (2017) 18650–18659. https://doi.org/10.1021/acsami.6b16813.

[42] V.K. Khanna, Nanomaterials and Their Properties, (2016) 25–41. https://doi.org/10.1007/978-81-322-3625-2_3.

[43] N. Saba, M.T. Paridah, K. Abdan, N.A. Ibrahim, Effect of oil palm nano filler on mechanical and morphological properties of kenaf reinforced epoxy composites, Constr. Build. Mater. 123 (2016) 15–26. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.131.

[44] Q. Wu, W.S. Miao, Y. Du Zhang, H.J. Gao, D. Hui, Mechanical properties of nanomaterials: A review, Nanotechnol. Rev. 9 (2020) 259–273. https://doi.org/10.1515/ntrev-2020-0021.

[45] M.H. Woldemariam, G. Belingardi, E.G. Koricho, D.T. Reda, Effects of nanomaterials

and particles on mechanical properties and fracture toughness of composite materials: A short review, AIMS Mater. Sci. 6 (2019). https://doi.org/10.3934/MATERSCI.2019.6.1191.

[46] M. Sultan, ch 8 nanomagnetism 2018, (2020).

[47] V.K. Khanna, Nanomaterials and Their Properties,:2016 :. https://doi.org/10.1007/978-81-322-3625-2_3.

[48] S. Jafari, M. Cheki, M.B. Tavakoli, A. Zarrabi, S.K. Ghazikhanlu, R. Afzalipour, Investigation of combination effect between 6 MV X-ray radiation and polyglycerol coated superparamagnetic iron oxide nanoparticles on U87-MG cancer cells, J. Biomed. Phys. Eng. 10 (2020) 15–24. https://doi.org/10.31661/jbpe.v0i0.929.

[49] A.J. GIUSTINI, A.A. PETRYK, S.M. CASSIM, J.A. TATE, I. BAKER, P.J. HOOPES, Magnetic Nanoparticle Hyperthermia in Cancer Treatment, Nano Life. 01 (2010) 17–32. https://doi.org/10.1142/s1793984410000067.

[50] J.M. Back, S.W. McCue, T.J. Moroney, Including nonequilibrium interface kinetics in a continuum model for melting nanoscaled particles, Sci. Rep. 4 (2014). https://doi.org/10.1038/srep07066.

[51] Nanomaterials and Biomedicine, Springer Singapore, 2020. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5274-8.

[52] P. Hirschle, T. Preiß, F. Auras, A. Pick, J. Völkner, D. Valdepérez, G. Witte, W.J. Parak, J.O. Rädler, S. Wuttke, Exploration of MOF nanoparticle sizes using various physical characterization methods-is what you measure what you get?, CrystEngComm. 18 (2016) 4359–4368. https://doi.org/10.1039/c6ce00198j.

[53] M.A. Mohamed, J. Jaafar, A.F. Ismail, M.H.D. Othman, M.A. Rahman, Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy,: Membr. Charact., Elsevier Inc., 2017. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63776-5.00001-2.

[54] K.M. Dorling, M.J. Baker, Rapid FTIR chemical imaging: Highlighting FPA detectors, Trends Biotechnol. 31 (2013) 437–438. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2013.05.008.

[55] M.A. Mohamed, J. Jaafar, A.F. Ismail, M.H.D. Othman, M.A. Rahman, Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy, Elsevier B.V., 2017. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63776-5.00001-2.

[56] J. Epp, X-Ray Diffraction (XRD) Techniques for Materials Characterization, Elsevier Ltd, 2016. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100040-3.00004-3.

[57] N.K. Thakral, R.L. Zanon, R.C. Kelly, S. Thakral, Applications of Powder X-Ray Diffraction in Small Molecule Pharmaceuticals: Achievements and Aspirations, J. Pharm. Sci. 107 (2018) 2969–2982. https://doi.org/10.1016/j.xphs.2018.08.010.

[58] Z. Chen, A.J. D'Alfonso, M. Weyland, D.J. Taplin, L.J. Allen, S.D. Findlay, Energy dispersive X-ray analysis on an absolute scale in scanning transmission electron microscopy, Ultramicroscopy. 157 (2015) 21–26. https://doi.org/10.1016/j.ultramic.2015.05.010.

[59] C.O. Colpan, Y. Nalbant, M. Ercelik, Fundamentals of Fuel Cell Technologies, Compr. Energy Syst. 4–5 (2018) 1107–1130. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809597-3.00446-6.

[60] B.J. Inkson, Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM) for Materials Characterization, في: Mater. Charact. Using Nondestruct. Eval. Methods, Elsevier Inc., 2016. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100040-3.00002-X.

[61] M. Krieg, G. Fläschner, D. Alsteens, B.M. Gaub, W.H. Roos, G.J.L. Wuite, H.E. Gaub, C. Gerber, Y.F. Dufrêne, D.J. Müller, Atomic force microscopy-based mechanobiology, Nat. Rev. Phys. 1 (2019) 41–57. https://doi.org/10.1038/s42254-018-0001-7.

[62] P.G. Jamkhande, N.W. Ghule, A.H. Bamer, M.G. Kalaskar, Metal nanoparticles synthesis: An overview on methods of preparation, advantages and disadvantages, and applications, J. Drug Deliv. Sci. Technol. 53 (2019) 101174. https://doi.org/10.1016/j.jddst.2019.101174.

[63] S. Ahmed, M. Ahmad, B.L. Swami, S. Ikram, A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: A green expertise, J. Adv. Res. 7 (2016) 17–28. https://doi.org/10.1016/j.jare.2015.02.007.

[64] N.L. Pacioni, C.D. Borsarelli, V. Rey, A. V. Veglia, Synthetic Routes for the Preparation of Silver Nanoparticles, 2015. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11262-6_2.

[65] S.K. Das, A.R. Das, A.K. Guha, D.T. Nagrale, A.P. Gaikwad, L. Sharma, G.D. Lilia Anghel, A.N. Marcin NOWICKI, Marzena NOWAKOWSKA, E.U. KOZIK, H.N. Mazumdar H., D. Rautaray, A. Sanyal, S.D. Adyanthaya, A. Ahmad, M. Sastry, J.S. Samuel, S.S. and J. Abraham, A. Gade, A. Ingle, C. Whiteley, M. Rai, P.T. Kajori Das, N. Krumov, I. Perner-Nochta, S. Oder, V. Gotcheva, A. Angelov, C. Posten, D.T. Nagrale, A.P. Gaikwad, L. Sharma, M. Rai, A. Yadav, A. Gade, E. Thos, L. Ogos, P. Athos, B.F. Skinner, T.S. To, A. International, P. Review, E.- Journal, V. Mishra, R. Sharma, N.D. Jasuja, S. Hasan, S. Ahmed, M. Ahmad, B.L. Swami, S. Ikram, A study on biosynthesis of iron nanoparticles by Pleurotus sp., Veg. Crop. Res. Bull. 8 (2013) 5–19. https://doi.org/10.1016/j.jare.2015.02.007.

[66] C.P. Devatha, A.K. Thalla, Green Synthesis of Nanomaterials, Elsevier Ltd., 2018. https://doi.org/10.1016/b978-0-08-101975-7.00007-5.

[67] M. Nasrollahzadeh, S.M. Sajadi, M. Sajjadi, Z. Issaabadi, An Introduction to Nanotechnology, في: Interface Sci. Technol., Elsevier B.V., 2019. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813586-0.00001-8.

[68] M.L. Selzer, Hostility as a barrier to therapy in alcoholism, Psychiatr. Q. 31 (1957) 301–305. https://doi.org/10.1007/BF01568729.

[69] E. Sánchez-López, D. Gomes, G. Esteruelas, L. Bonilla, A.L. Lopez-Machado, R. Galindo, A. Cano, M. Espina, M. Ettcheto, A. Camins, A.M. Silva, A. Durazzo, A. Santini, M.L. Garcia, E.B. Souto, Metal-based nanoparticles as antimicrobial agents: An overview, Nanomaterials. 10 (2020) 1–43. https://doi.org/10.3390/nano10020292.

[70] V. Prakash Sharma, U. Sharma, M. Chattopadhyay, V.N. Shukla, Advance Applications of Nanomaterials: A Review, في: Mater. Today Proc., Elsevier Ltd, 2018: ص.ص. 6380–6376. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.12.248.

[71] M.L. Selzer, Hostility as a barrier to therapy in alcoholism, Psychiatr. Q. 31 (1957) 301–305. https://doi.org/10.1007/BF01568729.

[72] V.R. Bhagwat, A. V. Humbe, S.D. More, K.M. Jadhav, Sol-gel auto combustion synthesis and characterizations of cobalt ferrite nanoparticles: Different fuels approach, Mater. Sci. Eng. B Solid-State Mater. Adv. Technol. 248 (2019) 114388. https://doi.org/10.1016/j.mseb.2019.114388.

[73] M.R. Ghazanfari, M. Kashefi, S.F. Shams, M.R. Jaafari, Perspective of Fe3O4 Nanoparticles Role in Biomedical Applications, Biochem. Res. Int. 2016 (2016). https://doi.org/10.1155/2016/7840161.

[74] D. Luong, S. Sau, P. Kesharwani, A.K. Iyer, Polyvalent Folate-Dendrimer-Coated Iron Oxide Theranostic Nanoparticles for Simultaneous Magnetic Resonance Imaging and Precise Cancer Cell Targeting, Biomacromolecules. 18 (2017) 1197–1209. https://doi.org/10.1021/acs.biomac.6b01885.

[75] X. Guo, W. Li, L. Luo, Z. Wang, Q. Li, F. Kong,

H. Zhang, J. Yang, C. Zhu, Y. Du, J. You, External Magnetic Field-Enhanced Chemo-Photothermal Combination Tumor Therapy via Iron Oxide Nanoparticles, ACS Appl. Mater. Interfaces. 9 (2017) 16581–16593. https://doi.org/10.1021/acsami.6b16513.

[76] Z.R. Stephen, C.J. Dayringer, J.J. Lim, R.A. Revia, M. V. Halbert, M. Jeon, A. Bakthavatsalam, R.G. Ellenbogen, M. Zhang, Approach to Rapid Synthesis and Functionalization of Iron Oxide Nanoparticles for High Gene Transfection, ACS Appl. Mater. Interfaces. 8 (2016) 6320–6328. https://doi.org/10.1021/acsami.5b10883.

[77] M.M. Song, H.L. Xu, J.X. Liang, H.H. Xiang, R. Liu, Y.X. Shen, Lactoferrin modified graphene oxide iron oxide nanocomposite for glioma-targeted drug delivery, Mater. Sci. Eng. C. 77 (2017) 904–911. https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.03.309.

[78] X. Cui, L. Dong, S. Zhong, C. Shi, Y. Sun, P. Chen, Sonochemical fabrication of folic acid functionalized multistimuli-responsive magnetic

graphene oxide-based nanocapsules for targeted drug delivery, Chem. Eng. J. 326 (2017) 839–848. https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.06.045.

[79] L. Deng, Q. Li, S. Al-Rehili, H. Omar, A. Almalik, A. Alshamsan, J. Zhang, N.M. Khashab, Hybrid Iron Oxide-Graphene Oxide-Polysaccharides Microcapsule: A Micro-Matryoshka for On-Demand Drug Release and Antitumor Therapy in Vivo, ACS Appl. Mater. Interfaces. 8 (2016) 6859–6868. https://doi.org/10.1021/acsami.6b00322.

[80] I. Monaco, F. Arena, S. Biffi, E. Locatelli, B. Bortot, F. La Cava, G.M. Marini, G.M. Severini, E. Terreno, M. Comes Franchini, Synthesis of Lipophilic Core-Shell Fe3O4@SiO2@Au Nanoparticles and Polymeric Entrapment into Nanomicelles: A Novel Nanosystem for in Vivo Active Targeting and Magnetic Resonance-Photoacoustic Dual Imaging, Bioconjug. Chem. 28 (2017) 1382–1390. https://doi.org/10.1021/acs.bioconjchem.7b00076.

[81] A. Pramanik, S. Jones, F. Pedraza, A. Vangara, C. Sweet, M.S. Williams, V. Ruppa-Kasani, S.E. Risher, D. Sardar, P.C. Ray, Fluorescent, Magnetic Multifunctional Carbon Dots for Selective Separation, Identification, and Eradication of Drug-Resistant Superbugs, ACS Omega. 2 (2017) 554–562. https://doi.org/10.1021/acsomega.6b00518.

[82] L. Shen, B. Li, Y. Qiao, Fe3O4 nanoparticles in targeted drug/gene delivery systems, Materials (Basel). 11 (2018) 1–29. https://doi.org/10.3390/ma11020324.

[83] A. Abedini, A.R. Daud, M.A.A. Hamid, N.K. Othman, Radiolytic formation of Fe3O4 nanoparticles: Influence of radiation dose on structure and magnetic properties, PLoS One. 9 (2014). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090055.

[84] M. Stefan, C. Leostean, O. Pana, M.L. Soran,

R.C. Suciu, E. Gautron, O. Chauvet, Synthesis and characterization of Fe 3 O 4 @ZnS and Fe 3 O 4 @Au@ZnS core-shell nanoparticles, Appl. Surf. Sci. 288 (2014) 180–192. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.10.005.

[85] D. Aksu Demirezen, Y.Ş. Yıldız, Ş. Yılmaz, D. Demirezen Yılmaz, Green synthesis and characterization of iron oxide nanoparticles using Ficus carica (common fig) dried fruit extract, J. Biosci. Bioeng. 127 (2019) 241–245. https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2018.07.024.

[86] S. Upadhyay, K. Parekh, B. Pandey, Influence of crystallite size on the magnetic properties of Fe 3 O 4 nanoparticles, J. Alloys Compd. 678 (2016) 478–485. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.03.279.

[87] M. Saeed, M. Usman, M. Muneer, N. Akram, A. Ul Haq, M. Tariq, F. Akram, Synthesis of Ag-Fe3O4 nanoparticles for degradation of methylene blue in aqueous medium, Bull. Chem. Soc. Ethiop. 34 (2020) 123–134. https://doi.org/10.4314/BCSE.V34I1.11.

[88] P.L. Hariani, M. Faizal, R. Ridwan, M. Marsi,

D. Setiabudidaya, Synthesis and Properties of Fe3O4 Nanoparticles by Co-precipitation Method to Removal Procion Dye, Int. J. Environ. Sci. Dev. 4 (2013) 336–340. https://doi.org/10.7763/ijesd.2013.v4.366.

[89] B.S. Journal, Synthesis and Characterization of Multishapes of Fe3O4 Nanoparticle by Solve-Hydrothermal Method Using Microwave Radiation, Baghdad Sci. J. 13 (2016) 331–339. https://doi.org/10.21123/bsj.13.2.331-339.

[90] S.M. Ghaseminezhad, S.A. Shojaosadati, Evaluation of the antibacterial activity of Ag/Fe3O4 nanocomposites synthesized using starch, Elsevier Ltd., 2016. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.03.007.

[91] A. Poladyan, K. Trchounian, A. Vassilian, A. Trchounian, Hydrogen production by Escherichia coli using brewery waste : Optimal pretreatment of waste and role of different hydrogenases, Renew. Energy. 115 (2018) 931–936. https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.022.

[92] L. Gabrielyan, L. Hakobyan, A. Hovhannisyan, A. Trchounian, Effects of iron oxide (Fe 3 O 4 ) nanoparticles on Escherichia coli antibiotic-resistant strains, J. Appl. Microbiol. 126 (2019) 1108–1116. https://doi.org/10.1111/jam.14214.

[93] A. Nayamadi Mahmoodabadi, A. Kompany, M. Mashreghi, Characterization, antibacterial and cytotoxicity studies of graphene-Fe3O4 nanocomposites and Fe3O4 nanoparticles synthesized by a facile solvothermal method, Mater. Chem. Phys. 213 (2018) 285–294. https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2018.04.033.

[94] D. Sushma, S. Richa, Use of Nanoparticles in Water Treatment: A review, Int. Res. J. Environ. Sci. Int. Sci. Congr. Assoc. 103 Mini Rev. 4 (2015) 103–106. www.isca.me.

[95] C. Alexiou, R. Tietze, E. Schreiber, S. Lyer, Pharmakotherapie mittels nanomedizin: Magnetische nanopartikel für drug delivery und hyperthermie - Neue chancen für die krebsbehandlung, Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforsch. - Gesundheitsschutz. 53

(2010) 839–845. https://doi.org/10.1007/s00103-010-1097-9.

[96] C.L. Chen, H. Zhang, Q. Ye, W.Y. Hsieh, T.K. Hitchens, H.H. Shen, L. Liu, Y.J. Wu, L.M. Foley, S.J. Wang, C. Ho, A new nano-sized iron oxide particle with high sensitivity for cellular magnetic resonance imaging, Mol. Imaging Biol. 13 (2011) 825–839. https://doi.org/10.1007/s11307-010-0430-x.

[97] S.C. McBain, H.H.P. Yiu, J. Dobson, Magnetic nanoparticles for gene and drug delivery, Int. J. Nanomedicine. 3 (2008) 169–180. https://doi.org/10.2147/ijn.s1608.

[98] C. Rümenapp, B. Gleich, A. Haase, Magnetic nanoparticles in magnetic resonance imaging and diagnostics, Pharm. Res. 29 (2012) 1165–1179. https://doi.org/10.1007/s11095-012-0711-y.

[99] C. Corot, P. Robert, J.M. Idée, M. Port, Recent advances in iron oxide nanocrystal technology for medical imaging, Adv. Drug Deliv. Rev. 58 (2006) 1471–1504. https://doi.org/10.1016/j.addr.2006.09.013.

[100] J. Puppi, R.R. Mitry, M. Modo, A. Dhawan, K. Raja, R.D. Hughes, Use of a clinically approved iron oxide MRI contrast agent to label human hepatocytes, Cell Transplant. 20 (2011) 963–975. https://doi.org/10.3727/096368910X543367.

[101] E. Sadauskas, H. Wallin, M. Stoltenberg, U. Vogel, P. Doering, A. Larsen, G. Danscher, Kupffer cells are central in the removal of nanoparticles from the organism, Part. Fibre Toxicol. 4 (2007) 1–7. https://doi.org/10.1186/1743-8977-4-10.

[102] L. Gholami, R. Kazemi Oskuee, M. Tafaghodi, A. Ramezani Farkhani, M. Darroudi, Green facile synthesis of low-toxic superparamagnetic iron oxide nanoparticles (SPIONs) and their cytotoxicity effects toward Neuro2A and HUVEC cell lines, Ceram. Int. 44 (2018) 9263–9268. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.02.137.

[103] C. Lopez-Abarrategui, V. Figueroa-Espi, M.B. Lugo-Alvarez, C.D. Pereira, H. Garay, J.A.R.G. Barbosa, R. Falcão, L. Jiménez-Hernández, O. Estévez-Hernández, E. Reguera, O.L. Franco, S.C. Dias, A.J. Otero-Gonzalez, The intrinsic antimicrobial activity of citric acid-coated manganese ferrite nanoparticles is enhanced after conjugation with the antifungal peptide cm-p5, Int. J. Nanomedicine. 11 (2016) 3849–3857. https://doi.org/10.2147/IJN.S107561.

[104] R. Rahmani, M. Gharanfoli, M. Gholamin, M. Darroudi, J. Chamani, K. Sadri, A. Hashemzadeh, Plant-mediated synthesis of superparamagnetic iron oxide nanoparticles (SPIONs) using aloe vera and flaxseed extracts and evaluation of their cellular toxicities, Ceram. Int. 46 (2020) 3051–3058. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.10.005.

[105] D.I. Tishkevich, I. V. Korolkov, A.L. Kozlovskiy, M. Anisovich, D.A. Vinnik, A.E. Ermekova, A.I. Vorobjova, E.E. Shumskaya, T.I. Zubar, S. V. Trukhanov, M. V. Zdorovets,

A. V. Trukhanov, Immobilization of boron-rich compound on Fe3O4 nanoparticles: Stability and cytotoxicity, J. Alloys Compd. 797 (2019) 573–581.
https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.05.075.

[106] H. Sadeghi-Aliabadi, M. Mozaffari, B. Behdadfar, M. Raesizadeh, H. Zarkesh-Esfahani, Preparation and cytotoxic evaluation of magnetite (Fe3O4) nanoparticleon breast cancer cells and its combinatory effects with doxorubicin used in hyperthermia, Avicenna J. Med. Biotechnol. 5 (2013) 96–103.

[107] S.A. Rashdan, L.J. Hazeem, Synthesis of spinel ferrites nanoparticles and investigating their effect on the growth of microalgae Picochlorum sp., Arab J. Basic Appl. Sci. 27 (2020) 134–141.
https://doi.org/10.1080/25765299.2020.1733174
.

[108] S.A. Saafan, S.T. Assar, S.F. Mansour, Magnetic and electrical properties of Co 1-x Ca x Fe 2O 4 nanoparticles synthesized by the auto combustion method, J. Alloys Compd. 542

(2012) 192–198. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2012.07.050.

[109] C. Himcinschi, I. Vrejoiu, G. Salvan, M. Fronk, A. Talkenberger, D.R.T. Zahn, D. Rafaja, J. Kortus, Optical and magneto-optical study of nickel and cobalt ferrite epitaxial thin films and submicron structures, J. Appl. Phys. 113 (2013). https://doi.org/10.1063/1.4792749.

[110] G. Padmapriya, A. Manikandan, V. Krishnasamy, S.K. Jaganathan, S.A. Antony, Spinel NixZn1-xFe2O4 ($0.0 \leq x \leq 1.0$) nano-photocatalysts: Synthesis, characterization and photocatalytic degradation of methylene blue dye, J. Mol. Struct. 1119 (2016) 39–47. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2016.04.049.

[111] J. Chomoucka, J. Drbohlavova, D. Huska, V. Adam, R. Kizek, J. Hubalek, Magnetic nanoparticles and targeted drug delivering,

Pharmacol. Res. 62 (2010) 144–149. https://doi.org/10.1016/j.phrs.2010.01.014.

[112] M.A. Almessiere, Y. Slimani, S. Güner, M. Nawaz, A. Baykal, F. Aldakheel, S. Akhtar, I. Ercan, Belenli, B. Ozçelik, Magnetic and structural characterization of Nb 3+ -substituted CoFe 2 O 4 nanoparticles, Ceram. Int. 45 (2019) 8222–8232. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.01.125.

[113] I. Ibrahim, I.O. Ali, T.M. Salama, A.A. Bahgat, M.M. Mohamed, Synthesis of magnetically recyclable spinel ferrite (MFe2O4, M=Zn, Co, Mn) nanocrystals engineered by sol gel-hydrothermal technology: High catalytic performances for nitroarenes reduction, Appl. Catal. B Environ. 181 (2016) 389–402. https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.08.005.

[114] R.B. Jimaa, Z.H. Mahmoud, F.K. Ali,

Evaluation the Efficiency of CuFe2O4 Prepared Photolysis by OSD and Photo degradation, Entomol. Appl. Sci. Lett. 5 (2018) 91–100.

[115] H. Ahankar, A. Ramazani, K. Ślepokura, T. Lis, V. Kinzhybalo, Magnetic cobalt ferrite nanoparticles functionalized with citric acid as a green nanocatalyst for one-pot three-component sonochemical synthesis of substituted 3-pyrrolin-2-ones, Res. Chem. Intermed. 45 (2019) 5007–5025. https://doi.org/10.1007/s11164-019-03878-1.

[116] S.R. Mokhosi, W. Mdlalose, S. Mngadi, M. Singh, T. Moyo, Assessing the structural, morphological and magnetic properties of polymer-coated magnesium-doped cobalt ferrite (CoFe2O4) nanoparticles for biomedical application, J. Phys. Conf. Ser. 1310 (2019). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1310/1/012014.

[117] N. Karthigayan, P. Manimuthu, M. Priya, S. Sagadevan, Synthesis and characterization of

NiFe2O4, CoFe2O4 and CuFe2O4 thin films for anode material in Li-ion batteries, Nanomater. Nanotechnol. 7 (2017) 1–5. https://doi.org/10.1177/1847980417711084.

[118] L.A.C. Minho, G.C. Brandão, D. de Andrade Santana, O.S. Santos, H.M.C. Andrade, W.N.L. dos Santos, Cellulose-coated CoFe 2 O 4 nanoparticles as an adsorbent for extraction and preconcentration of bioactive compounds in vinegars, Microchem. J. 147 (2019) 102–111. https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.03.005.

[119] E. Ranjith Kumar, P. Siva Prasada Reddy, G. Sarala Devi, S. Sathiyaraj, Structural, dielectric and gas sensing behavior of Mn substituted spinel MFe2O4 (M=Zn, Cu, Ni, and Co) ferrite nanoparticles, J. Magn. Magn. Mater. 398 (2016) 281–288. https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2015.09.018.

[120] S.B. Kale, S.B. Somvanshi, M.N. Sarnaik, S.D. More, S.J. Shukla, K.M. Jadhav,

Enhancement in surface area and magnetization of CoFe2O4 nanoparticles for targeted drug delivery application, AIP Conf. Proc. 1953 (2018). https://doi.org/10.1063/1.5032528.

[121] N. Labchir, A. Hannour, A.A. hssi, D. Vincent, J.P. Chatelon, D. Dufeu, A. Ihlal, M. Sajieddine, Microwave response of coplanar waveguide based on electrodeposited CoFe2O4 nanowires, J. Magn. Magn. Mater. 510 (2020) 166952. https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.166952.

[122] D. Kshamitha, V. Manjunath, S. Dastagiri, P. Reddy Prasad, M. V. Lakshmaiah, Influence of annealing on structural and morphological of spray pyrolysis deposited CoFe2O4 thin films, South African J. Chem. Eng. 33 (2020) 51–57. https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.04.004.

[123] S. V. Bhosale, P.S. Ekambe, S. V. Bhoraskar, V.L. Mathe, Effect of surface properties of NiFe 2 O 4 nanoparticles synthesized by dc thermal plasma route on antimicrobial activity, Appl. Surf. Sci. 441 (2018) 724–733.

https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.01.220.

[124] S. Velho-Pereira, A. Noronha, A. Mathias, R. Zakane, V. Naik, P. Naik, A. V. Salker, S.R. Naik, Antibacterial action of doped CoFe2O4 nanocrystals on multidrug resistant bacterial strains, Mater. Sci. Eng. C. 52 (2015) 282–287. https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.03.046.

[125] S. Gankhuyag, K. Lee, D.S. Bae, Facile Synthesis of Efficient Antibacterial Agent as CoFe 2 O 4 /Ag Composite Material Against Both Gram-Negative Escherichia coli and Gram-Positive Bacillus subtilis Bacteria , J. Nanosci. Nanotechnol. 18 (2018) 6348–6354. https://doi.org/10.1166/jnn.2018.15660.

[126] T.H. Nguyen, R. Yang, A. Azaria, S. Kraus, M. Tambe, Analyzing the effectiveness of adversary modeling in security games, Proc. 27th AAAI Conf. Artif. Intell. AAAI 2013. (2013) 718–724.

[127] B. Drašler, D. Drobne, S. Novak, J. Valant,

S. Boljte, L. Otrin, M. Rappolt, B. Sartori, A. Iglič, V. Kralj-Iglič, V. Šuštar, D. Makovec, S. Gyergyek, M. Hočevar, M. Godec, J. Zupanc, Effects of magnetic cobalt ferrite nanoparticles on biological and artificial lipid membranes, Int. J. Nanomedicine. 9 (2014) 1559–1581. https://doi.org/10.2147/IJN.S57671.

[128] K. Luyts, D. Napierska, B. Nemery, P.H.M. Hoet, How physico-chemical characteristics of nanoparticles cause their toxicity: Complex and unresolved interrelations, Environ. Sci. Process. Impacts. 15 (2013) 23–38. https://doi.org/10.1039/c2em30237c.

[129] R. Zandipak, S. Sobhanardakani, Synthesis of NiFe2O4 nanoparticles for removal of anionic dyes from aqueous solution, Desalin. Water Treat. 57 (2016) 11348–11360. https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1050701.

[130] A.M. Abu-Dief, I.F. Nassar, W.H. Elsayed, Magnetic NiFe2O4 nanoparticles: efficient, heterogeneous and reusable catalyst for synthesis of acetylferrocene chalcones and their

anti-tumour activity, Appl. Organomet. Chem. 30 (2016) 917–923. https://doi.org/10.1002/aoc.3521.

[131] X. Shi, Y.F. Li, S.L. Bernasek, A. Selloni, Structure of the NiFe2O4(001) surface in contact with gaseous O2 and water vapor, Surf. Sci. 640 (2015) 73–79. https://doi.org/10.1016/j.susc.2015.03.012.

[132] A.M. Abu-Dief, I.F. Nassar, W.H. Elsayed, Magnetic NiFe2O4 nanoparticles: efficient, heterogeneous and reusable catalyst for synthesis of acetylferrocene chalcones and their anti-tumour activity, Appl. Organomet. Chem. 30 (2016) 917–923. https://doi.org/10.1002/aoc.3521.

[133] S. Sagadevan, Z.Z. Chowdhury, R.F. Rafique, Preparation and characterization of nickel ferrite nanoparticles via co-precipitation method, Mater. Res. 21 (2018) 21–25. https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2016-0533.

[134] R. Sen, P. Jain, R. Patidar, S. Srivastava, R.S. Rana, N. Gupta, Synthesis and Characterization of Nickel Ferrite (NiFe2O4) Nanoparticles Prepared by Sol- Gel Method, Mater. Today Proc. 2 (2015) 3750–3757. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.165.

[135] U. Kurtan, H. Güngüneş, H. Sözeri, A. Baykal, Synthesis and characterization of monodisperse NiFe2O4 nanoparticles, Ceram. Int. 42 (2016) 7987–7992. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.01.200.

[136] D.F. de Queiroz, E.R. de Camargo, M.A.U. Martines, Synthesis and characterization of magnetic nanoparticles of cobalt ferrite coated with silica, Biointerface Res. Appl. Chem. 10 (2020) 4908–4913. https://doi.org/10.33263/BRIAC101.908913.

[137] N. Gupta, P. Jain, R. Rana, S. Shrivastava, Current Development in Synthesis and Characterization of Nickel Ferrite Nanoparticle, Mater. Today Proc. 4 (2017) 342–349. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.01.031.

[138] R. Kesavamoorthi, A.N. Vigneshwaran, V. Sanyal, C. Ramachandra Raja, Synthesis and characterization of nickel ferrite nanoparticles by sol - Gel auto combustion method, J. Chem. Pharm. Sci. 9 (2016) 160–162.

[139] L. Su, W. Qin, H. Zhang, Z.U. Rahman, C. Ren, S. Ma, X. Chen, The peroxidase/catalase-like activities of MFe2O4 (M=Mg, Ni, Cu) MNPs and their application in colorimetric biosensing of glucose, Biosens. Bioelectron. 63 (2015) 384–391. https://doi.org/10.1016/j.bios.2014.07.048.

[140] P.B. Kharat, M. V. Shisode, S.D. Birajdar, D.N. Bhoyar, K.M. Jadhav, Synthesis and characterization of water based NiFe2O4 ferrofluid, AIP Conf. Proc. 1832 (2017) 10–13. https://doi.org/10.1063/1.4980355.

[141] K. Chand Verma, V. Pratap Singh, M. Ram, J. Shah, R.K. Kotnala, Structural, microstructural and magnetic properties of NiFe 2O4, CoFe2O4 and MnFe 2O4 nanoferrite thin films, J. Magn. Magn. Mater. 323 (2011) 3271–3275.

https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2011.07.029.

[142] S. V. Bhosale, P.S. Ekambe, S. V. Bhoraskar, V.L. Mathe, Effect of surface properties of NiFe 2 O 4 nanoparticles synthesized by dc thermal plasma route on antimicrobial activity, Appl. Surf. Sci. 441 (2018) 724–733. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.01.220.

[143] A.R. Allafchian, S.A.H. Jalali, R. Amiri, S. Shahabadi, Synthesis and characterization of the NiFe 2 O 4 @TEOS-TPS@Ag nanocomposite and investigation of its antibacterial activity, Appl. Surf. Sci. 385 (2016) 506–514. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.05.072.

[144] I.M. Ramírez-Sánchez, E.R. Bandala, Use of Ferrate and Ferrites for Water Disinfection, ACS Symp. Ser. 1238 (2016) 145–159. https://doi.org/10.1021/bk-2016-1238.ch006.

[145] Y. AlSalka, L.I. Granone, W. Ramadan, A. Hakki, R. Dillert, D.W. Bahnemann, Iron-based photocatalytic and photoelectrocatalytic nano-

structures: Facts, perspectives, and expectations, Appl. Catal. B Environ. 244 (2019) 1065–1095. https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.12.014.

[146] A. Ahmadivand, B. Gerislioglu, A. Tomitaka, P. Manickam, A. Kaushik, S. Bhansali, M. Nair, N. Pala, Extreme sensitive metasensor for targeted biomarkers identification using colloidal nanoparticles-integrated plasmonic unit cells, Biomed. Opt. Express. 9 (2018) 373. https://doi.org/10.1364/boe.9.000373.

[147] S. Anandan, T. Selvamani, G.G. Prasad, A. M. Asiri, J. J. Wu, Magnetic and catalytic properties of inverse spinel CuFe2O4 nanoparticles, J. Magn. Magn. Mater. 432 (2017) 437–443. https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2017.02.026.

[148] P. Khemthong, C. Kongmark, N. Kochaputi, S. Mahakot, S. Rodporn, K. Faungnawakij, In Situ X-ray Absorption Fine Structure Probing-Phase Evolution of CuFe2O4 in Nanospace Confinement, Inorg. Chem. 58

(2019) 6584–6587. https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.9b00540.

[149] Erdawati, E. Allanas, Y. Pratiwi, Effectiveness biochar/CuFe2O4as a media filter for water quality in the aquaponic system of gourami with bell pepper, AIP Conf. Proc. 2331 (2021). https://doi.org/10.1063/5.0045462.

[150] F.H. Mulud, N.A. Dahham, I.F. Waheed, Synthesis and Characterization of Copper Ferrite Nanoparticles, IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 928 (2020). https://doi.org/10.1088/1757-899X/928/7/072125.

[151] M. Amini, M.H. Kafshdouzsani, A. Akbari, S. Gautam, C.H. Shim, K.H. Chae, Spinel copper ferrite nanoparticles: Preparation, characterization and catalytic activity, Appl. Organomet. Chem. 32 (2018) 1–8. https://doi.org/10.1002/aoc.4470.

[152] M.A. Haija, G. Basina, F. Banat, A.I. Ayesh, Adsorption and gas sensing properties of CuFe2O4 nanoparticles, Mater. Sci. Pol. (2019). https://doi.org/10.2478/msp-2019-0020.

[153] M.K. Satheeshkumar, E. Ranjith Kumar, C. Srinivas, G. Prasad, S.S. Meena, I. Pradeep, N. Suriyanarayanan, D.L. Sastry, Structural and magnetic properties of CuFe 2 O 4 ferrite nanoparticles synthesized by cow urine assisted combustion method, J. Magn. Magn. Mater. 484 (2019) 120–125. https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2019.03.128.

[154] T.A. Atia, P. Altimari, E. Moscardini, I. Pettiti, L. Toro, F. Pagnanelli, Synthesis and characterization of copper ferrite magnetic nanoparticles by hydrothermal route, Chem. Eng. Trans. 47 (2016) 151–156. https://doi.org/10.3303/CET1647026.

[155] A.C. Nawle, A. V. Humbe, M.K. Babrekar, S.S. Deshmukh, K.M. Jadhav, Deposition, characterization, magnetic and optical properties of Zn doped CuFe2O4 thin films, J. Alloys Compd. 695 (2017) 1573–1582. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.10.301.

[156] Z. Sun, L. Liu, D. zeng Jia, W. Pan, Simple synthesis of CuFe2O4 nanoparticles as gas-

sensing materials, Sensors Actuators, B Chem. 125 (2007) 144–148. https://doi.org/10.1016/j.snb.2007.01.050.

[157] V. Pašukoniene, A. Mlynska, S. Steponkiene, V. Poderys, M. Matulionyte, V. Karabanovas, U. Statkute, R. Purviniene, J.A. Kraśko, A. Jagminas, M. Kurtinaitiene, M. Strioga, R. Rotomskis, Accumulation and biological effects of cobalt ferrite nanoparticles in human pancreatic and ovarian cancer cells, Med. 50 (2014) 237–244. https://doi.org/10.1016/j.medici.2014.09.009.

[158] M. Ahamed, M.J. Akhtar, H.A. Alhadlaq, M.A.M. Khan, S.A. Alrokayan, Comparative cytotoxic response of nickel ferrite nanoparticles in human liver HepG2 and breast MFC-7 cancer cells, Chemosphere. 135 (2015) 278–288.

https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.03.079.

[159] R. Liu, Y. Cheng, Y. Li, Q. Zhang, B. Jia, D. Wang, R. Fan, Adsorption kinetics and adsorption isotherms of bovin serum albumin (BSA) onto magnetic ZnFe2O4 nanoparticles, J. Nanosci. Nanotechnol. 17 (2017) 2899–2905. https://doi.org/10.1166/jnn.2017.13044.

[160] R. Kaur, A. Hasan, N. Iqbal, S. Alam, M.K. Saini, S.K. Raza, Synthesis and surface engineering of magnetic nanoparticles for environmental cleanup and pesticide residue analysis: A review, J. Sep. Sci. 37 (2014) 1805–1825. https://doi.org/10.1002/jssc.201400256.

[161] P. Zhang, I. Lo, D. O'Connor, S. Pehkonen, H. Cheng, D. Hou, High efficiency removal of methylene blue using SDS surface-modified ZnFe2O4 nanoparticles, J. Colloid Interface Sci. 508 (2017) 39–48. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.08.025.

[162] D.C. Culita, C.M. Simonescu, M. Dragne, N. Stanica, C. Munteanu, S. Preda, O. Oprea, Effect of surfactant concentration on textural, morphological and magnetic properties of CoFe2O4 nanoparticles and evaluation of their adsorptive capacity for Pb(II) ions, Ceram. Int. 41 (2015) 13553–13560. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.07.150.

[163] D.H.K. Reddy, Y.S. Yun, Spinel ferrite magnetic adsorbents: Alternative future materials for water purification?, Coord. Chem. Rev. 315 (2016) 90–111. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2016.01.012.

[164] D. Cao, X. Jin, L. Gan, T. Wang, Z. Chen, Removal of phosphate using iron oxide nanoparticles synthesized by eucalyptus leaf extract in the presence of CTAB surfactant, Chemosphere. 159 (2016) 23–31. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.05.080.

[165] L.I. Granone, R. Dillert, P. Heitjans, D.W. Bahnemann, Effect of the Degree of Inversion on the Electrical Conductivity of Spinel ZnFe2O4, ChemistrySelect. 4 (2019) 1232–1239. https://doi.org/10.1002/slct.201804062.

[166] A. Ramazani, S.T. Fardood, Z. Hosseinzadeh, F. Sadri, S.W. Joo, Green synthesis of magnetic copper ferrite nanoparticles using tragacanth gum as a biotemplate and their catalytic activity for the oxidation of alcohols, Iran. J. Catal. 7 (2017) 181–185.

[167] S.B. Somvanshi, M. V Khedkar, P.B. Kharat, K.M. Jadhav, Influential diamagnetic magnesium ( Mg 2 + ) ion substitution in nano-spinel zinc ferrite ( ZnFe 2 O 4 ): Thermal , structural , spectral , optical and physisorption analysis, Ceram. Int. (2019) 1–11. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.12.097.

[168] K. Shetty, L. Renuka, H.P. Nagaswarupa, H. Nagabhushana, K.S. Anantharaju, D. Rangappa, S.C. Prashantha, K. Ashwini, A

comparative study on $CuFe_2O_4$, $ZnFe_2O_4$ and $NiFe_2O_4$: Morphology, Impedance and Photocatalytic studies, Mater. Today Proc. 4 (2017) 11806–11815. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.09.098.

[169] S.S. Kumbhar, M.A. Mahadik, S.S. Shinde, K.Y. Rajpure, C.H. Bhosale, Fabrication of $ZnFe_2O_4$ films and its application in photoelectrocatalytic degradation of salicylic acid, J. Photochem. Photobiol. B Biol. 142 (2015) 118–123. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2014.12.002.

[170] B.S. Surendra, H.P. Nagaswarupa, M.U. Hemashree, J. Khanum, Jatropha extract mediated synthesis of $ZnFe_2O_4$ nanopowder: Excellent performance as an electrochemical sensor, UV photocatalyst and an antibacterial activity, Chem. Phys. Lett. 739 (2020) 136980. https://doi.org/10.1016/j.cplett.2019.136980.

[171] P. Padole, SYNTHESIS AND

CHARACTARIZATION OF Cu DOPED ZnFe 2 O 4 NANOPARTICLES AND THEIR ANTIBACTERIAL ACTIVITY AGAINST HUMAN Biomedical European of, (2021).

[172] Y. Lin, X. Tang, L. Xu, S. Wang, Antibacterial properties and possible action mechanism of chelating peptides-zinc nanocomposite against Escherichia coli, Food Control. 106 (2019) 106675. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.06.001.

[173] P. Suppuraj, G. Thirunarayanan, M. Swaminathan, I. Muthuvel, Facile Synthesis of Spinel Nanocrystalline ZnFe2O4: Enhanced Photocatalytic and Microbial Applications, Mater. Sci. Appl. Chem. 34 (2017) 4–11. https://doi.org/10.1515/msac-2017-0001.

[174] M. Sriramulu, D. Shukla, S. Sumathi, Aegle marmelos leaves extract mediated synthesis of zinc ferrite: Antibacterial activity and drug delivery, Mater. Res. Express. 5 (2018) 1–9. https://doi.org/10.1088/2053-1591/aadd88.

[175] H.G. Rodrigues, A. Herrel, G. Billet, Ontogenetic and life history trait changes

associated with convergent ecological specializations in extinct ungulate mammals, Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 114 (2017) 1069–1074. https://doi.org/10.1073/pnas.1614029114.

[176] L. Hajba, A. Guttman, The use of magnetic nanoparticles in cancer theranostics: Toward handheld diagnostic devices, Biotechnol. Adv. 34 (2016) 354–361. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.02.001.

[177] S. Kanagesan, M. Hashim, S.A.B. Aziz, I. Ismail, S. Tamilselvan, N.B. Alitheen, M.K. Swamy, B.P. Chandra Rao, Evaluation of antioxidant and cytotoxicity activities of copper ferrite (CuFe2O4) and zinc ferrite (ZnFe2O4) nanoparticles synthesized by sol-gel self-combustion method, Appl. Sci. 6 (2016) 1–13. https://doi.org/10.3390/app6090184.

[178] J. Wan, X. Jiang, H. Li, K. Chen, Facile synthesis of zinc ferrite nanoparticles as non-lanthanide T 1 MRI contrast agents, J. Mater. Chem. 22 (2012) 13500–13505. https://doi.org/10.1039/c2jm30684k.

[179] M.N.O. Sadiku, T.J. Ashaolu, A. Ajayi-Majebi, S.M. Musa, Future of Nanotechnology, Int. J. Sci. Adv. 2 (2021). https://doi.org/10.51542/ijscia.v2i2.9.

[180] P.D. Kilmer, Review Article: Review Article, Journalism. 11 (2010) 369–373. https://doi.org/10.1177/1461444810365020.

[181] T.C. Jackson, B.O. Patani, D.E. Ekpa, Nanotechnology in Diagnosis: A Review, Adv. Nanoparticles. 06 (2017) 93–102. https://doi.org/10.4236/anp.2017.63008.

[182] J. Shi, A.R. Votruba, O.C. Farokhzad, R. Langer, Nanotechnology in drug delivery and tissue engineering: From discovery to applications, Nano Lett. 10 (2010) 3223–3230. https://doi.org/10.1021/nl102184c.

[183] V.K. Chaturvedi, A. Singh, V.K. Singh, M.P. Singh, Cancer Nanotechnology: A New Revolution for Cancer Diagnosis and Therapy,

Curr. Drug Metab. 20 (2018) 416–429. https://doi.org/10.2174/138920021966618091811528.

[184] M.R. Angle, B. Cui, N.A. Melosh, Nanotechnology and neurophysiology, Curr. Opin. Neurobiol. 32 (2015) 132–140. https://doi.org/10.1016/j.conb.2015.03.014.

[185] G.M. Whitesides, Nanoscience, nanotechnology, and chemistry, Small. 1 (2005) 172–179. https://doi.org/10.1002/smll.200400130.

[186] E. Serrano, G. Rus, J. García-Martínez, Nanotechnology for sustainable energy, Renew. Sustain. Energy Rev. 13 (2009) 2373–2384. https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.06.003.

[187] H.H. Al-Kayiem, S.T. Mohammad, Potential of renewable energy resources with an emphasis on solar power in Iraq: An outlook, Resources. 8 (2019). https://doi.org/10.3390/resources8010042.

[188] R.J. Goldfarb, © 19 9 1 Nature Publishing

Group 그라첼꺼, Nature. 354 (1991) 56–58.

[189] R. Katoh, A. Furube, M. Kasuya, N. Fuke, N. Koide, L. Han, Photoinduced electron injection in black dye sensitized nanocrystalline TiO2 films, J. Mater. Chem. 17 (2007) 3190–3196. https://doi.org/10.1039/b702805a.

[190] H.S. G, Economic sizing of a hybrid ( PV-WT- FC ) renewable energy system ( HRES ) for stand-alone usages by an.

[191] P.J. Sebastian, R. Castañeda, L. Ixtlilco, R. Mejia, J. Pantoja, A. Olea, Synthesis and characterization of nanostructured semiconductors for photovoltaic and photoelectrochemical cell applications, Sol. Hydrog. Nanotechnol. III. 7044 (2008) 704405. https://doi.org/10.1117/12.796913.

[192] M. Ni, M.K.H. Leung, D.Y.C. Leung, K. Sumathy, A review and recent developments in photocatalytic water-splitting using TiO2 for hydrogen production, Renew. Sustain. Energy Rev. 11 (2007) 401–425. https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.01.009.

[193] G.R. Bamwenda, H. Arakawa, The photoinduced evolution of O2 and H2 from a WO3 aqueous suspension in the presence of Ce4+/Ce3+, Sol. Energy Mater. Sol. Cells. 70 (2001) 1–14. https://doi.org/10.1016/S0927-0248(00)00399-8.

[194] H. Arakawa, K. Sayama, Oxide semiconductor materials for solar light energy utilization, Res. Chem. Intermed. 26 (2000) 145–152. https://doi.org/10.1163/156856700X00183.

[195] M. Alam Khan, M. Shaheer Akhtar, S.I. Woo, O.B. Yang, Enhanced photoresponse under visible light in Pt ionized TiO2 nanotube for the photocatalytic splitting of water, Catal. Commun. 10 (2008) 1–5. https://doi.org/10.1016/j.catcom.2008.01.018.

[196] D.G. Rickerby, M. Morrison, Nanotechnology and the environment : A European perspective Nanotechnology and the environment : A European perspective, 6996 (2007).

https://doi.org/10.1016/j.stam.2006.10.002.

[197] A.M. Serventi, D.G. Rickerby, M.C. Horrillo, R.G. Saint-Jacques, Transmission electron microscopy investigation of the effect of deposition conditions and a platinum layer in gas-sensitive r.f.-sputtered SnO2 films, Thin Solid Films. 445 (2003) 38–47. https://doi.org/10.1016/j.tsf.2003.08.056.

[198] P. Reichel, Development of a Chemical Gas Sensor System, (2005).

[199] M. Graf, D. Barrettino, M. Zimmermann, A. Hierlemann, H. Baltes, S. Hahn, N. Bârsan, U. Weimar, CMOS Monolithic Metal-Oxide Sensor System Comprising a Microhotplate and Associated Circuitry, IEEE Sens. J. 4 (2004) 9–16. https://doi.org/10.1109/JSEN.2003.820367.

[200] D. Calestani, M. Zha, G. Salviati, L. Lazzarini, L. Zanotti, E. Comini, G. Sberveglieri, Nucleation and growth of SnO2 nanowires, J. Cryst. Growth. 275 (2005) 2083–

2087. https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2004.11.269.

[201] D.G. Rickerby, M. Morrison, Nanotechnology and the environment: A European perspective, Sci. Technol. Adv. Mater. 8 (2007) 19–24. https://doi.org/10.1016/j.stam.2006.10.002.

[202] S. Yean, L. Cong, C.T. Yavuz, J.T. Mayo, W.W. Yu, A.T. Kan, V.L. Colvin, M.B. Tomson, Effect of magnetite particle size on adsorption and desorption of arsenite and arsenate, J. Mater. Res. 20 (2005) 3255–3264. https://doi.org/10.1557/jmr.2005.0403.

[203] C.M. Sayes, F. Liang, J.L. Hudson, J. Mendez, W. Guo, J.M. Beach, V.C. Moore, C.D. Doyle, J.L. West, W.E. Billups, K.D. Ausman, V.L. Colvin, Functionalization density dependence of single-walled carbon nanotubes cytotoxicity in vitro, Toxicol. Lett. 161 (2006) 135–142. https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2005.08.011.

[204] J.M. Tarascon, M. Armand, Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries, Mater. Sustain. Energy A Collect. Peer-Reviewed Res. Rev. Artic. from Nat. Publ. Gr. 414 (2010) 171–179. https://doi.org/10.1142/9789814317665_0024.

[205] F.O. Lenzmann, B.C. O'Regan, J.J.T. Smits, H.P.C.E. Kuipers, P.M. Sommeling, L.H. Slooff, J.A.M. Van Roosmalen, Dye solar cells without electrolyte or hole-transport layers: A feasibility study of a concept based on direct regeneration of the dye by metallic conductors, Prog. Photovoltaics Res. Appl. 13 (2005) 333–340. https://doi.org/10.1002/pip.631.

[206] R. Liu, R. Lal, Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions, Sci. Total Environ. 514 (2015) 131–139. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.104.

[207] M. Usman, M. Farooq, A. Wakeel, A. Nawaz, S.A. Cheema, H. ur Rehman, I. Ashraf, M. Sanaullah, Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future

opportunities, Sci. Total Environ. 721 (2020) 137778. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137778.

[208] Water in Iraq Factsheet, (2015).

[209] A. Arefin, A. Mallik, Sources and causes of water pollution in Bangladesh : A technical overview, 15 (2018) 97–112.

[210] H. Qadri, R.A. Bhat, M.A. Mehmood, G.H. Dar, Fresh Water Pollution Dynamics and Remediation, 2020. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8277-2.

[211] S. Dubey, S. Banerjee, S.N. Upadhyay, Y.C. Sharma, Application of common nano-materials for removal of selected metallic species from water and wastewaters: A critical review, J. Mol. Liq. 240 (2017) 656–677. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.05.107.

[212] K.K. Kefeni, B.B. Mamba, Photocatalytic application of spinel ferrite nanoparticles and nanocomposites in wastewater treatment: Review, Sustain. Mater. Technol. 23 (2020) e00140.

https://doi.org/10.1016/j.susmat.2019.e00140.

[213] M. Vallet-Regí, B. González, I. Izquierdo-Barba, Nanomaterials as promising alternative in the infection treatment, Int. J. Mol. Sci. 20 (2019). https://doi.org/10.3390/ijms20153806.

[214] R.R. Castillo, D. Lozano, B. González, M. Manzano, I. Izquierdo-Barba, M. Vallet-Regí, Advances in mesoporous silica nanoparticles for targeted stimuli-responsive drug delivery: an update, Expert Opin. Drug Deliv. 16 (2019) 415–439. https://doi.org/10.1080/17425247.2019.1598375.

[215] A.A. Ashkarran, M. Ghavami, H. Aghaverdi, P. Stroeve, M. Mahmoudi, Bacterial effects and protein corona evaluations: Crucial ignored factors in the prediction of bio-efficacy of various forms of silver nanoparticles, Chem. Res. Toxicol. 25 (2012) 1231–1242. https://doi.org/10.1021/tx300083s.

[216] Z. Guo, Y. Chen, Y. Wang, H. Jiang, X.

Wang, Advances and challenges in metallic nanomaterial synthesis and antibacterial applications, J. Mater. Chem. B. 8 (2020) 4764–4777. https://doi.org/10.1039/d0tb00099j.

[217] G. Ghasemzadeh, M. Momenpour, F. Omidi, M.R. Hosseini, M. Ahani, A. Barzegari, Applications of nanomaterials in water treatment and environmental remediation, Front. Environ. Sci. Eng. 8 (2014) 471–482. https://doi.org/10.1007/s11783-014-0654-0.

[218] K.K. Kefeni, T.A.M. Msagati, T.T. Nkambule, B.B. Mamba, Spinel ferrite nanoparticles and nanocomposites for biomedical applications and their toxicity, Mater. Sci. Eng. C. 107 (2020) 110314. https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.110314.

[219] K. Elayakumar, A. Manikandan, A. Dinesh, K. Thanrasu, K. Kanmani Raja, R. Thilak Kumar, Y. Slimani, S.K. Jaganathan, A. Baykal, Enhanced magnetic property and antibacterial biomedical activity of Ce 3+ doped CuFe 2 O 4 spinel nanoparticles synthesized by sol-gel method, J. Magn. Magn. Mater. 478

(2019) 140–147.
https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2019.01.108.

[220] M.A. Ansari, A. Baykal, S. Asiri, S. Rehman, Synthesis and Characterization of Antibacterial Activity of Spinel Chromium-Substituted Copper Ferrite Nanoparticles for Biomedical Application, J. Inorg. Organomet. Polym. Mater. 28 (2018) 2316–2327.
https://doi.org/10.1007/s10904-018-0889-5.